ИНФОРМАТИКА:
проблемы, методы, технологии
IPMT-2025

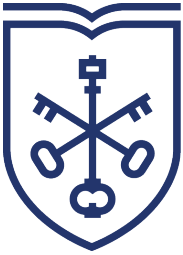


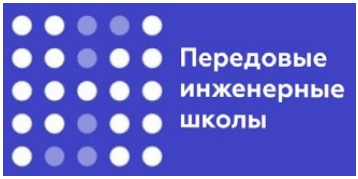
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

«ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ» РАН





ИНФОРМАТИКА:
ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ

Материалы
XXV Международной
научно-практической конференции
им. Э.К. Алгазинова

Воронеж,
12-13 февраля 2025 г.

Под общей редакцией к.т.н. Борисова Д. Н.

Воронеж
2025

УДК 004.65+004.438.5
ББК Ч 481 (2) 22
И74

Оргкомитет:

Сопредседатели:

Волков Денис Владимирович, министр цифрового развития Воронежской области;
Салогубова Наталья Валерьевна, министр образования Воронежской области;
Костин Дмитрий Владимирович, проректор по науке, инновациям и цифровизации Воронежского государственного университета, д.ф.-м.н., доцент;
Крыловецкий Александр Абрамович, декан факультета компьютерных наук ВГУ, к.ф.-м.н., доцент;
Чупандина Елена Евгеньевна, врио ректора ВГУ, первый проректор-проректор по учебной работе Воронежского государственного университета, д.фарм.н., профессор.

Заместители председателя:

Борисов Дмитрий Николаевич, заведующий кафедрой информационных систем ФКН ВГУ, к.т.н., доцент;
Зацаринный Александр Алексеевич, заместитель директора Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН, д.т.н., профессор;
Коваль Андрей Сергеевич, заведующий лабораторией сетевых технологий, старший преподаватель кафедры информационных систем ФКН ВГУ;
Крыловецкая Татьяна Алексеевна, доцент кафедры цифровых технологий ФКН ВГУ, к.ф.-м.н., доцент;
Митрофанов Александр Юрьевич, ректор «Воронежского института развития образования им. Н.Ф. Бунакова».

Члены комитета:

Бодров А. Ю., Бойченко И. А., Вахтин А. А., Ветохин В. В., Максимов А.В., Митрофанова Е. Ю., Синтяев Ю. Н., Соломатин Д. И., Швырева А. В., Шуйкова И.А., Юров А. Н.

Программный комитет:

Артемов М. А., Васенин В. А., Гаршина В. В., Ерешко Ф. И., Запрягаев С. А., Кобозева И. М., Кретов А. А., Крыловецкий А. А., Кургалин С. Д., Кунаковская Л.А., Львович Я. Е., Матвеев М. Г., Махортов С. Д., Медведев С. Н., Семенов М. Е., Сирота А. А., Сычев А. В., Толстобров А. П., Чижов М. И., Чечкин А. В.

И74 Информатика: проблемы, методы, технологии: сборник материалов XXIV международной научно-практической конференции / под общ. ред. Д. Н. Борисова; Воронеж, Воронежский государственный университет, 12-13 февраля 2025 г. – Воронеж, ВГУ, 2025. – 1352 с.

В сборнике предлагаются научные работы, доклады и лекции, представленные на XXV Международную научно-практическую конференцию «Информатика: проблемы, методы, технологии», проводимой Воронежским государственным университетом.

Сборник предназначен для научных работников, аспирантов и студентов старших курсов.

УДК 004.65+004.438.5
ББК Ч 481 (2) 22

© ФГБОУ ВО ВГУ, 2025

Секция 1
Методы и технологии разработки программных систем

Применение пространственных ограничений для нежесткой трехмерной регистрации лица

А. Д. Борисов, email: radiatus@yandex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Предложен метод применения пространственных ограничений для улучшения неригидной трёхмерной регистрации лицевых данных. Метод учитывает глубинную информацию и априорную модель деформации, повышая точность реконструкции без полного 3D-сканирования.*

Ключевые слова: *стереокамеры, трехмерная реконструкция, пространственные ограничения.*

Введение

С каждым годом цифровые технологии всё больше интегрируются в сферу кино и видеоигр. Одной из ключевых задач при создании виртуальных персонажей является точное воспроизведение трёхмерной структуры человеческого лица на основе визуальных данных. Такие технологии позволяют моделировать сложные движения лица и создавать высококачественные цифровые двойники, необходимых для кино и видеоигр. Однако современные подходы часто сталкиваются с ограничениями, связанными с недостаточной точностью и адаптивностью методов.

Наиболее распространённые методы, такие как оптический поток и дифференцируемый рендеринг, ориентированы на обработку двумерных изображений, что приводит к слабой точности в трехмерном пространстве. Это ограничивает их применение, особенно в тех случаях, когда важна глубинная информация. Например, игнорирование таких факторов может вызывать артефакты в полученных моделях, приводить к разрывам геометрии и некорректным результатам реконструкции.

Для решения данных проблем особое внимание привлекают методы, использующие данные стереокамер. Такие подходы обеспечивают восстановление геометрии с учётом пространственной информации, что даёт возможность более точно регистрировать лицевые данные в трёхмерном пространстве. Это особенно важно в задачах, где требуется высокая точность, например, при моделировании мимики или реконструкции индивидуальных черт лица.

© Борисов А.Д., 2025

В данной статье представлен метод, позволяющий улучшить нежёсткую трехмерную регистрацию лицевых данных за счёт внедрения пространственных ограничений. Основное внимание уделено возможности интеграции глубинной информации в процесс оптимизации, что позволяет значительно повысить качество конечного результата. Рассмотренные подходы имеют широкую область применения: от построения лицевых моделей с использованием данных с двух камер до сложных систем фотограмметрии, что делает предложенный метод универсальным инструментом для задач реконструкции в современной компьютерной графике.

1. Существующие решения

Восстановление трёхмерной геометрии лица на основе изображений является важным этапом в создании цифровых двойников. Одним из базовых подходов к решению этой задачи является использование нескольких откалиброванных камер для получения трёхмерного скана, который затем служит основой для адаптации деформируемой геометрии под лицо конкретного человека. Однако такой метод сталкивается с рядом существенных проблем.

Во-первых, качество сканов, полученных с использованием стереокамер, зачастую оставляет желать лучшего [1]. Это связано с тем, что многие алгоритмы обработки изображений не учитывают специфику лицевых данных и применяются к ним так же, как и к любым другим объектам. В результате отсутствия учёта особенностей лица возникают геометрические артефакты и неточности. Во-вторых, ограниченное количество камер приводит к недостаточной детализации в сложных областях, таких как носогубные складки или уголки глаз, что ещё больше снижает точность. Наконец, вычисление полного трёхмерного скана с нуля является чрезвычайно ресурсоёмким процессом, что затрудняет его применение в условиях, требующих оперативной обработки данных.

Для преодоления этих ограничений предлагается использовать статистические модели лица. Такие подходы позволяют значительно сократить вычислительные затраты, комбинируя информацию с камер с заранее подготовленными моделями, адаптированными для работы с лицевыми данными. Например, использование статистических моделей позволяет интерполировать недостающие данные, что снижает влияние ограниченного количества камер.

Альтернативный подход был предложен Коки Нагано в его исследовании [2]. В данной методике применяется оптический поток между изображениями с двух камер, что позволяет восстановить глубинную информацию. После этого выполняется триангуляция для

каждого пикселя изображения, чтобы определить смещение точек геометрии. Данный метод избегает построения полноценного трёхмерного скана, но вместо этого использует геометрическую модель лица для оптимизации результатов. Этот подход опирается на качество оптического потока. Если поток не сможет найти соответствия на должном уровне точности, то результат будет искажен и с шумом.

Рассматриваемый в данной статье метод предлагает альтернативное решение, опираясь на обратное проецирование трёхмерных точек деформируемой геометрии в пространство камер. Это позволяет избежать проблем, связанных с ошибками оптического потока, и гарантирует соблюдение геометрических ограничений, необходимых для получения точного результата. Подход сочетает в себе преимущества статистических моделей и использование глубинной информации, что делает его эффективным для решения задач трёхмерной реконструкции лицевых данных.

2. Описание ограничения

Для восстановления трёхмерной геометрии лица используется информация, полученная на основе заранее подготовленных трёхмерных сканов ключевых выражений лица. Такие данные создаются заранее для конкретного человека, что позволяет учесть индивидуальные особенности мимики и строения лица.

В основе подхода лежит применение модели деформации. В качестве примера используется линейная модель [3, 4], в которой изменение геометрии представлено как линейная комбинация дельт ключевых кадров с нейтральной формой лица. Эта модель позволяет описать широкий диапазон возможных выражений, комбинируя предопределённые базовые формы. Полученная комбинация дельт добавляется к базовой модели, что обеспечивает возможность адаптации к конкретному лицу.

Одним из ключевых этапов процесса является минимизация ошибок между маркерами, заранее размещёнными на геометрии модели, и их проекциями на изображения, полученные с камер. Однако, даже при такой оптимизации, полученная геометрия может существенно отличаться от эталонной, что связано с отсутствием учёта глубинной информации.

Для решения этой проблемы в метод интегрируются пространственные ограничения, основанные на использовании данных стереокамер. Процесс реконструкции начинается с трассировки лучей через текущую версию геометрии модели из пространства одной из камер. Далее из полученных данных отбираются только те точки геометрии, которые находятся в поле зрения этой камеры. На

следующем этапе производится уточнение набора точек путём отбора тех, которые одновременно видны и из второй камеры. Эти точки проецируются на изображения обеих камер, где их пиксельные значения сравниваются между собой для минимизации расхождений и повышения точности реконструкции.

Ключевая идея состоит в том, что каждая точка модели, наблюдаемая из двух камер, должна совпадать с пикселями, имеющими схожие значения на изображениях с обеих камер. Это позволяет использовать пространственные ограничения, которые учитывают взаимное расположение точек в трёхмерном пространстве. Схема ограничений с двумя камерами отображена на рисунке ниже.

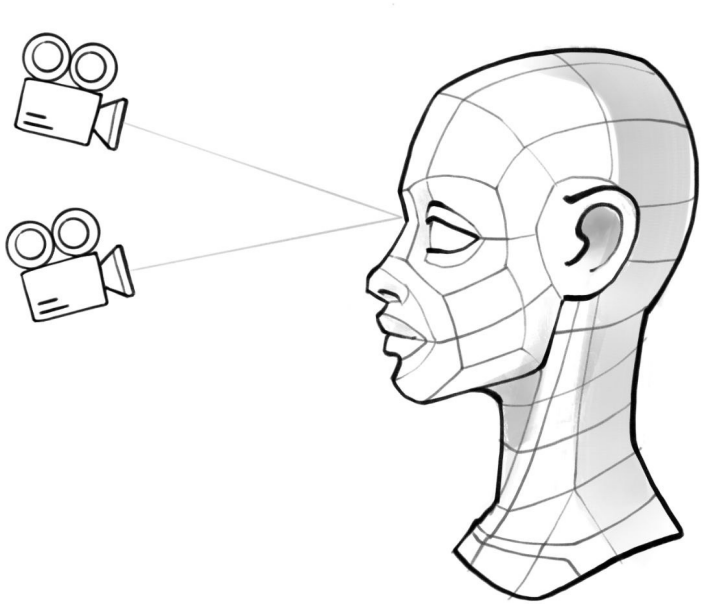


Рисунок. Схема пространственных ограничений

Данный подход также учитывает потенциальные ошибки реконструкции за счёт использования пирамид изображений [5]. В этом методе оптимизация начинается с изображений низкого разрешения и постепенно переходит к изображениям высокого разрешения. Это позволяет сначала устранить крупные ошибки, а затем уточнить

результаты на более детализированных данных. Такой подход повышает устойчивость алгоритма и улучшает итоговую точность.

Внедрение описанного ограничения существенно повышает соответствие модели эталонным данным, что делает метод пригодным для применения, как в задачах реконструкции лица, так и в других областях, где требуется точное восстановление геометрии.

3. Результаты

Применение предложенного метода пространственных ограничений позволило существенно улучшить качество трёхмерной реконструкции лицевых данных. Эксперименты были проведены на большом количестве тестовых данных, включающих сложные выражения лица и различные условия съёмки.

Сравнение результатов показало, что использование пространственных ограничений обеспечивает более точное соответствие реконструируемой геометрии эталонной модели, по сравнению с методами, основанными исключительно на данных маркеров. Включение глубинной информации в процесс оптимизации позволило минимизировать ошибки реконструкции в сложных областях лица, таких как носогубные складки, глаза и губы.

Кроме того, использование пирамид изображений в процессе оптимизации обеспечило устойчивость алгоритма к начальным ошибкам. Эксперименты подтвердили, что метод сохраняет высокую точность даже при ограниченном количестве камер. Предложенный подход не требует увеличения машинных мощностей для расчёта для фотограмметрических систем с большим количеством камер.

Заключение

В данной работе представлен метод улучшения трёхмерной регистрации лицевых данных, основанный на внедрении пространственных ограничений. Применение стереокамер и интеграция глубинной информации позволили повысить точность реконструкции, снизив влияние ограничений, присущих традиционным подходам.

Предложенный алгоритм отличается устойчивостью к исходным ошибкам благодаря использованию пирамид изображений. Это делает его подходящим для задач, требующих точной реконструкции геометрии лица в реальном времени.

Метод демонстрирует эффективность при реконструкции лиц на основе данных как с двух камер, так и с более сложных фотограмметрических установок. Его применение позволяет отказаться от ресурсоёмкого построения полного трёхмерного скана, что особенно актуально в условиях, где требуется быстрая обработка данных.

Разработанный подход можно рассматривать как универсальное решение для задач трёхмерной реконструкции, применимое в киноиндустрии, игровой сфере, а также в научных исследованиях, связанных с анализом лицевой мимики. В будущем возможно расширение данного метода на более сложные системы и области применения, где требуется реконструкция сложных геометрических объектов.

Список литературы

1. Zollhöfer, M. State of the Art on 3D Reconstruction with RGB-D Cameras / M. Zollhöfer, J. Thies, M. Nießner // Computer Graphics Forum. – 2018. – P. 1-3.
2. Nagano, K. Multi-View Stereo on Consistent Face Topology / K. Nagano, G. Fyffe // ACM SIGGRAPH computer graphics. – N.Y.: ACM, 2017. – P. 1-2.
3. Lewis, J. P. Practice and Theory of Blendshape Facial Models / J. P. Lewis, Ken Anjyo // ACM SIGGRAPH computer graphics. – N.Y.: ACM, 2014. – P. 1-2.
4. Blanz, V. A Morphable Model for the Synthesis of 3D Faces / V. Blanz, T. Vetter // ACM SIGGRAPH computer graphics. – N.Y.: ACM, 1999. – P. 1-2.
5. Andelson, E.H. Pyramid methods in image processing / E. H. Andelson, C.H. Anderson // ACM SIGGRAPH computer graphics. – N.Y.: ACM, 1983. – P. 1-2.

Методы поиска минимального числа преобразований массивов с использованием алгоритмов поиска в ширину и в глубину

Д. В. Бородин, email: dvoranchik@yandex.ru [1]
А. В. Пруцков, email: mail@prutzkow.com [2]

[1] Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского
[2] Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина

Аннотация. *Для автоматической генерации программ преобразования одного целочисленного массива в другой с использованием Java Stream API исследованы две стратегии поиска: в ширину (BFS) и в глубину (DFS). Разработанный алгоритм генерации программ с помощью этих стратегий находит минимальные по длине последовательности преобразований одного массива в другой. Проведенные эксперименты продемонстрировали, что алгоритм BFS превосходит DFS по скорости выполнения при малой глубине поиска, показывая прирост до 15%, однако с увеличением глубины BFS начинает потреблять на 60% больше оперативной памяти из-за необходимости хранения всех промежуточных состояний. Анализ полученных результатов экспериментов позволяет рекомендовать DFS для задач с большими объемами данных, а также дает основу для дальнейших исследований поиска преобразований массивов с учетом ограничений памяти и времени выполнения.*

Ключевые слова: *автоматическая генерация программ, преобразование массивов, поиск в ширину, поиск в глубину, Java Stream API, функциональное программирование, графы.*

Введение

Массивы являются одной из базовых структур данных в программировании, используемой для хранения и управления наборами данных. В компьютерных науках и математике часто возникает задача преобразования одного массива в другой через серию определенных операций. Это преобразование важно не только для результативной обработки данных, но и для оптимизации вычислительных процессов в приложениях, где требуется модификация структуры данных для достижения целевых состояний. Сложность этой

© Бородин Д.В., Пруцков А.В., 2025

задачи возрастает с увеличением размера массивов и числа доступных операций, что делает необходимым использование определенных алгоритмов поиска.

1. Описание предметной области

Рассматриваемая предметная область охватывает теорию алгоритмов, дискретную математику и функциональное программирование, с фокусом на преобразование числовых последовательностей. Ключевым аспектом исследования является разработка алгоритма применения минимальных по длине последовательностей преобразований одного массива целых чисел в другой.

2. Цель исследования

Целью исследования является разработка и анализ алгоритма генерации программ для нахождения минимальной по длине последовательности преобразований, трансформирующих заданный массив целых чисел в целевой массив, с использованием функциональных возможностей Stream API языка Java.

3. Терминология

Массив (Array) – структура данных, представляющая собой упорядоченную последовательность элементов одного типа. В данном исследовании рассматриваются массивы целых чисел, которые являются исходными и целевыми объектами для преобразования.

$\mathbb{Z}$ – множество целых чисел.

N – множество натуральных чисел.

$\mathbb{R}$ – множество рациональных чисел.

$ARR = [a_1, a_2, ..., a_n]$, где $a_i \in \mathbb{Z}$; $i \in 1,...,n$; $n \in \mathrm{N}$.

Преобразованием массива ARR будем называть отображение $\mathbb{Z}^n \xrightarrow{f} \mathbb{Z}^m$, где $\mathbb{Z}$ – множество целых чисел, $n, k \in \mathrm{N}$, а $f \in F$, F – конечное множество всех преобразований, $|F| = T \in \mathrm{N}$.

Совокупность преобразований можно представить орграфом:

$G = (V, E)$, где V – вершины графа, E – дуги графа.

Каждой вершине v_i соответствует ARR_i – массив, полученный в результат некоего преобразования, а каждому ребру e_j – преобразование f_j из множества преобразований.

$v_0 \in V$ – начальное состояние (исходный массив), $v^* \in V$ – целевое состояние (требуемый массив).

Путь в графе G – это последовательность вершин, соединенных дугами:

$P_G = \left(v_1 e_{12} v_2, ..., v_{n-1} e_{n-1,n} v_n\right)$

или

$P_G = \left(v_1, v_2, ..., v_{n-1}, v_n\right)$,

где $v_0 \in V$, $i = 1, 2, ..., n$, $e_{ij} \in E$, $j = i + 1$ образующих подграф:

$P_G = G_P\left(V_P, E_P\right)$, $G_P \subset G$.

Длина пути определяется как $l\left(P_G\right) = \left|V_P\right|$.

Каждая вершина имеет отображение в множество рациональных чисел $\mathbb{R}$ в виде эвристической функции близости массива к искомому:

$h\left(P_G\right) = d$, где $d \in \mathbb{R}$.

$Q = \left(v_1, v_2, ..., v_{k-1}, v_k\right)$ – очередь, содержащая вершины графа.

4. Алгоритм, для поиска последовательности преобразований

В процессе разработки алгоритма генерации программ поиска последовательности преобразований для трансформации одного массива в другой были рассмотрены и опробованы различные подходы. Основной задачей являлось создание метода, способного находить решение в разумные сроки и с приемлемым использованием памяти.

Рассмотрим существующие способы преобразования массивов:

В исследовании Yun, S.G [1] предложен алгоритм поиска шаблонов в графовых потоках, улучшивший точность распознавания паттернов при высоких объемах данных с использованием подграфовой изоморфии и Java Stream API, что помогает ускорить обработку.

Работа Kocsis, I. [2] продемонстрировала, как моделирование распространения ошибок в Java Pathfinder с DFS улучшает надежность программного обеспечения, благодаря обработке исключений на уровне байт-кода Java.

Janke, M. введена методика [3] для извлечения графовых паттернов кода с использованием BFS, что упростило идентификацию повторяющихся структур и улучшило анализ программных приложений на Java.

Исследование Stow, E. [4] привело к созданию системы автоматизированной генерации кода для параллельных сверток, используя BFS и DFS, что оптимизировало распределение ресурсов в аналоговых процессорах.

В работе Taranov, K. [5] предложен метод сетевого взаимодействия без сериализации (Naos) в Java, который уменьшает расходы и повышает

пропускную способность сети, применяя BFS и DFS для управления передачей данных.

Wu, S. разработана стекоцентрическая модель [6] для обработки данных с улучшенной производительностью, которая использует BFS и DFS для выполнения итеративных вычислений на Java.

Sujeeth, A.K. [7] предложил компилятор Delite, который предоставляет архитектуру для высокопроизводительных домен-специфичных языков на JVM, где BFS и DFS помогают оптимизировать задачи компиляции и выполнения.

Michail, D. В своем исследовании [8] показал, что библиотека JGraphT значительно расширяет возможности работы с графами и поддерживает улучшенные реализации BFS и DFS.

Исследование Sroka, J. [9] разработало систему преобразования реляционных запросов в табличные данные с использованием рекурсивного BFS, что увеличивает совместимость с другими форматами данных и упрощает анализ.

В работе Ibrahim, I.A., Albarrak, A.M. [10] достигнута точная идентификация корреляций в данных временных рядов, что ускоряет их обработку благодаря использованию BFS и DFS.

Разработанная Visser, W. [11] автоматизация генерации тестов для контейнеров Java с использованием BFS и сопоставления состояний позволяет генерировать тестовые данные, снижая вероятность ошибок и увеличивая покрытие тестов.

Byun, J., Woo, S. [12] предложили применение временных алгоритмов BFS и DFS для анализа распространения информации, что позволило ускорить обработку временных графов и улучшить анализ данных в реальном времени.

Книга Chawdhuri, D.R. [13] предлагает обзор структур данных Java 9 и применяет BFS и DFS для оптимизации обработки массивов и деревьев, что позволяет разработчикам улучшать производительность и управляемость данных.

Изучив возможные способы подхода к решению поставленной задачи, принято решение сравнить два основных подхода: поиск в ширину (BFS) и поиск в глубину (DFS).

В качестве среды для реализации алгоритмов было решено использовать Java Stream API (наиболее полно описано в [14]). Она позволяет управлять потоками данных, предоставляя инструменты для работы с коллекциями, включая фильтрацию, сортировку, отображение, а также параллельную обработку данных. Эти особенности представляют преимущество в задачах преобразования данных, позволяют проводить сложные преобразования массивов

в несколько этапов с использованием методов функционального программирования.

Для выполнения данной задачи необходимо собрать базу преобразований целочисленных массивов.

5. Сбор и формирование базы преобразований

На начальном этапе формирования базы преобразований были проанализированы существующие решения, размещенные на популярных платформах для хостинга кода. Основными источниками информации стали:

1. GitHub (https://github.com) – веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки. Для данного решения был выполнен поиск репозиториев, связанных с обработкой массивов и коллекций в Java.
2. Stack Overflow (https://stackoverflow.com) – это сервис вопросов-ответов, где одни люди задают вопросы, а другие отвечают. Это база знаний, с помощью которой IT-специалисты решают свои задачи.
3. Medium (https://medium.com) – это социальное медиа для публикации текстового контента. На данном ресурсе большое количество статей по языкам программирования, в том числе по Java Stream Api.
4. Habr (https://habr.com/ru/articles/) – русскоязычный веб-сайт в формате системы тематических коллективных блогов с элементами новостного сайта, созданный для публикации новостей, аналитических статей, мыслей, связанных с информационными технологиями, бизнесом и интернетом.

Для поиска на указанных ресурсах использовались следующие поисковые запросы: Java Stream Api, Stream Api Java Int, An array of integers, converting arrays.

По результатам выборки составлены несколько блоков операций Stream Api: сложение, умножение, деление, сортировка, удаление, добавление элементов и более сложные операции. Следующим этапом исследования является выбор подхода к поиску решения для преобразования массивов.

6. Поиск в ширину (BFS)

Данный алгоритм позволяет находить Q кратчайшие последовательности преобразований, при обходе всех возможных состояний на каждом уровне глубины.

Алгоритм начинается с создания очереди и добавления в неё начальной вершины v_0, которая представляет исходный массив, при

этом множество посещенных вершин $V_p = \{v_o\}$. Пока очередь не пуста, извлекается текущая вершина v. Если $v = v^*$, алгоритм завершается, и количество операций до достижения цели соответствует уровню вершины в дереве поиска. В противном случае строится набор направленных ребер $E_T = \{e_1, e_2, ..., e_T\}$, ведущих к вершинам $v_1, v_2, ..., v_T$, где каждое ребро e_i соответствует применению одной из доступных операций преобразования. Если вершина $v_i \notin V_p$, то $V_p : V_p = V_p \bigcup \{v_i\}$, а также устанавливается связь между v и v_i для последующего восстановления пути. Алгоритм завершается без результата, если очередь пуста, но целевая вершина не найдена.

7. Поиск в глубину (DFS)

Алгоритм начинается с инициализации начальной вершины v_o, представляющей исходный массив, и целевой вершины v^*, соответствующей целевому массиву. Затем определяется максимальная глубина поиска $D \in \mathrm{N}$. Для каждой глубины d от 1 до D создается пустое множество посещенных вершин $V_p = \varnothing$, и запускается рекурсивная функция $DFS(v_o, d, V, p)$, где p – пустой путь. Функция проверяет, достигнута ли максимальная глубина или целевая вершина, и в случае совпадения возвращает путь. Если вершина уже посещена, она пропускается. Для каждой доступной операции строятся направленные рёбра, ведущие к новым вершинам, и функция вызывается рекурсивно для уменьшенной глубины. Если на пути решение не найдено, вершина удаляется из множества посещенных. Алгоритм завершается, если после всех попыток для глубин d от 1 до D не найдено решение.

Проверим результативность указанных алгоритмов для выполнения поставленной задачи.

8. Экспериментальная часть

Для проверки работоспособности предложенного решения было разработано программное средство на языке программирования Java, которое использовало описанные алгоритмы для выполнения задачи преобразования массивов. Были отобраны 30 различных операций Stream API по преобразованию массивов. Проверка проводилась на заранее подготовленных тестовых наборах следующего вида:

Для проверки поиска с одним преобразованием:

1. Исходный список из 31 случайно сгенерированного массива целых чисел длинны 10, целые числа в массивах выбраны из диапазона от -100 до 100.

2. Целевой список массивов, представляющий собой результат преобразования исходных массива с использованием одного соответствующего массиву преобразования из списка Stream API.

Для проверки поиска с двумя преобразованиями:

3. Исходный список из 961 случайно сгенерированного массива целых чисел длинны 10, целые числа в массивах выбраны из диапазона от -100 до 100.

4. Целевой список массивов, представляющий собой все возможные комбинации преобразований из отобранных ранее операций Stream API к соответствующим элементам исходного массива.

Эксперимент представляет собой применение к каждому массиву из списка исходных алгоритмов BFS и DFS, для определения количества преобразований до целевого массива при применении одной и двух операций. Программа начинает выполнение для каждого массива исходного списка и применяет к нему один из выбранных алгоритмов до достижения соответствующего целевого массива и заканчивает выполнение, когда для каждого была найдена последовательность преобразований.

Эксперименты проводились на компьютере со следующими характеристиками:

– процессор: Intel(R) Core (TM) i7-8750H (6 ядер, 12 потоков) с базовой частотой 2.20 ГГц и возможностью повышения до 4.1 ГГц;
– оперативная память: 16 ГБ DDR4;
– хранилище: Toshiba 512 ГБ M.2 KBG30ZMS512G;
– операционная система: Windows 10 Pro 64-bit (версия 22H2);
– Java Development Kit: OpenJDK 21.0.2;
– интегрированная среда разработки: IntelliJ IDEA 2024.1.

Для минимизации влияния фоновых процессов на результаты тестирования, перед каждым запуском программы производилась перезагрузка системы, и отключались все неиспользуемые приложения и службы. Энергосберегающие функции были отключены, а производительность процессора установлена на максимальный уровень.

Каждый тест запускался 10 раз, и в качестве результата бралось среднее значение времени выполнения. Стандартное отклонение времени выполнения не превышало 5% от среднего значения для всех тестов.

Для оценки лучшего алгоритма решено было решено использовать следующие метрики:

1. Время выполнения программы.
2. Максимальный размер использованной памяти в результате работы программы.
3. Средний размер использованной памяти при работе программы.
4. Статистика по количеству составленных путей различной длинны, построенных до достижения целевого массива.

Эксперимент представляет собой запуски программы для исходных списков массивов целых чисел длин 31 и 961 с применением алгоритма DFS, а также запуски, но с применением алгоритма BFS. Как результат были получены следующие значения, приведенные в таблице.

Таблица

Результаты работы программного средства для преобразования массивов с использованием алгоритмов BFS и DFS

Алго-ритм	**Число операций**	**Время работы (миллисе кунды)**	**Макс память (МБ)**	**Средняя память (МБ)**	**Количество путей (длины 1: длины 2)**
BFS	1	74,29480	5,32	5,11	435:0
	2	764,37380	137,14	55,70	25804:235548
DFS	1	77,08070	5,77	5,38	435:0
	2	687,43110	49,12	23,15	33088:235765

Результаты экспериментов показали, что алгоритм BFS обеспечивает прирост производительности до 15% по сравнению с DFS на задачах с небольшой глубиной поиска. Однако с увеличением глубины BFS начинает потреблять на 60% больше оперативной памяти из-за необходимости хранения всех промежуточных состояний, кроме того, при увеличении глубины поиска число состояний будет экспоненциально увеличиваться.

Были предприняты попытки оптимизации алгоритма BFS. Для хранения данных использовались различные структуры такие как: класс – дерево, массив, очередь, запись значений в файл. А также применялось ограничение максимальной глубины поиска. Несмотря на эти меры, проблема масштабируемости алгоритма BFS остается критической.

Преимуществом DFS в решении данной задачи, является значительное уменьшение использования памяти, так как при вычислении хранится только текущий путь, а также уменьшение времени поиска за счет уменьшения времени обращения к памяти

и поиска посещенной вершины. Таким образом, несмотря на возросшее число посещенных вершин алгоритм DFS лучше подходит для решения поставленной задачи создания алгоритма генерации программ для нахождения минимальной по длине последовательности преобразований, трансформирующих заданный массив целых чисел в целевой массив.

Заключение

В проведенном исследовании был предложен и реализован алгоритм генерации программ для поиска оптимальных по длине преобразований массивов целых чисел с использованием методов поиска в ширину (BFS) и поиска в глубину (DFS). Использование этих методов позволило детально изучить возможные пути преобразования массивов.

Эксперименты показали, что алгоритм BFS справляется с задачами поиска кратчайшего пути, однако при увеличении глубины поиска наблюдается рост потребления памяти, что ограничивает его применимость в задачах с большим объемом данных. Алгоритм DFS продемонстрировал значительное уменьшение использования памяти благодаря рекурсивной структуре, хотя для достижения результата он требует увеличенного количества посещений вершин. Таким образом, при решении задачи преобразования массивов выбор оптимального метода зависит от компромисса между скоростью обработки и объемом доступной памяти.

Результаты настоящего исследования позволяют рекомендовать алгоритм DFS для задач, требующих значительных объемов данных и ограниченной памяти. В дальнейшем планируется сделать следующее:

– исследование работы алгоритма при большем количестве преобразований в последовательности;

– комбинирование предложенных подходов для уменьшения времени выполнения алгоритма;

– использование дополнительных эвристических функций для сужения поиска в графах;

– применение интеллектуального анализа данных: нейросетей, генетических алгоритмов, классификаторов и т. п.

Список литературы

1. Yun, S. G. Windowed Graph Stream Pattern Matching using Subgraph-Isomorphism / S.G. Yun // Bachelor's thesis. – Leipzig: Universität Leipzig, 2023. – 49 p.

2. Kocsis, I. Supporting Error Propagation Modeling with Java Pathfinder / D. Lakatos // Bachelor's thesis. – Budapest: Budapest University of Technology and Economics, 2014. – 63 p.

3. Janke, M. Graph-based Code Pattern Extraction / M. Sc. Mario Janke // Dissertation submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Engineering. – Data-intensive Systems and Visualization Group, Fakultät für Informatik und Automatisierung. – Ilmenau: Technische Universität Ilmenau, 2024. – 225 p. – DOI: 10.22032/dbt.62456.

4. Stow, E. Automatic Code Generation for Simultaneous Convolutional Kernels on Cellular Processor Arrays / E. J. Stow // Master's thesis. – Department of Computing, Imperial College of Science, Technology and Medicine. – London: Imperial College London, 2020. – 68 p.

5. Naos: Serialization-free RDMA networking in Java / K. Tarano [et al.] // 2021 USENIX Annual Technical Conference (USENIX ATC '21), July 14–16, 2021. – Virtual Event, 2021. – P. 1-14.

6. Stack-Centric Processing Model for Iterative Processing / Z. Pang [et al.] // IEEE Transactions on Big Data. – 2022. – Vol. 8. – Iss. 2. – P. 318-331.

7. Delite: A Compiler Architecture for Performance-Oriented Embedded Domain-Specific Languages / A. K. Sujeeth [et al.] // ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS). – 2014. – Vol. 13. – Iss. 4s. – P. 1-25.

8. Michail, D. JGraphT—A Java Library for Graph Data Structures and Algorithms / D. Michail, M. Nairz, M. Palzenberger // ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). – 2020. – Vol. 46. – Iss. 2. – P. 1-29.

9. Sroka, J. Translating Relational Queries into Spreadsheets / J. Sroka, I. Holubova, P. Tuma // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2015. – Vol. 27. – Iss. 8. – P. 2291-2303.

10. Ibrahim, I. A. Correlation-based search for time series data / I. A. Ibrahim, A. M. Albarrak // International Journal of Computer Applications in Technology. – 2020. – Vol. 62. – Iss. 2. – P. 158-174.

11. Visser, W. Test input generation for Java containers using state matching / W. Visser, C.S. Păsăreanu, R. Pelánek // Proceedings of the 2006 International Symposium on Software Testing and Analysis. – 2006. – P. 37-48.

12. Byun, J. Chronograph: Enabling Temporal Graph Traversals for Efficient Information Diffusion Analysis over Time / J. Byun, S. Woo, D. Kim // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2019. – Vol. 32. – Iss. 3. – P. 424-437.

13. Chawdhuri, D. R. Java 9 Data Structures and Algorithms / D. R. Chawdhuri. – Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2017. – 340 p.

14. Урма, Р. Г. Современный язык Java. Лямбда-выражения, потоки и функциональное программирование / Р. Г. Урма, М. Фуско, А. Майкрофт. – СПб.: Питер, 2020. – 592 с.

Методика извлечения контуров зданий из офф-надир методами глубокого обучения

Г. К. Брязгин, email: geor.briazgin@yandex.ru

«Московский авиационный институт(национальный исследовательский институт)»

Аннотация. *Извлечение контуров зданий с аэроснимков необходимо для точного картографирования городов с помощью аэрофотосъемки и технологий компьютерного зрения. Существующие подходы в основном предполагают, что крыша и контур здания хорошо совпадают, что может не соответствовать действительности на аэроснимках с офф-надирным углом съемки, так как между ними часто существует значительное смещение. В данной работе была предложена архитектура глубокого обучения, в которой присутствует вектор смещения, т.е. задача извлечения контуров зданий на офф-надирных изображениях предстает в виде проблемы совместного предсказания на уровне экземпляров крыши здания и соответствующего вектора смещения от крыши к контуру. Таким образом, контур можно оценить, переместив предсказанную маску крыши согласно предсказанному вектору смещения.*

Ключевые слова: *компьютерное зрение, глубокое обучение, обработка спутниковых снимков, нейронные сети.*

Введение

Автоматическое извлечение контуров зданий (АИКЗ) с аэроснимков городских сцен изучается уже десятилетиями и приносит пользу множеству задач геоматике и наблюдению Земли, таких как 3D моделирование городов, обнаружение изменений зданий и точное городское планирование.[1-4]

Ранние работы решали проблему АИКЗ, в основном используя структурные и визуальные особенности изображений для характеристики контуров зданий [5-7]. Однако эффективность этих методов часто ограничивается дискриминационными способностями поверхностных признаков.

Формирование масок оснований зданий является одной из ключевых задач в области компьютерного зрения и геоинформатики. Маски оснований зданий представляют собой бинарные или многоуровневые карты, где каждый пиксель изображения отмечен как

© Брязгин Г. К., 2025

принадлежащий зданию или окружающей его территории. Такие карты широко используются в различных областях, включая городское планирование,строительство, мониторинг состояния объектов, создание 3D-карт и управление природными ресурсами.

Офф-надир (off-nadir) – это угол съемки, при котором камера или сенсор направлены не вертикально вниз (надир), а под углом к поверхности земли. Офф-надир съемка позволяет получить больше информации о структуре объектов, но также приводит к искажениям и изменению перспективы.

Автоматическое формирование масок оснований зданий имеет огромное значение в современном мире. Этот процесс позволяет значительно сократить время и затраты на ручную разметку изображений, а также увеличить точность и масштабируемость анализа инфраструктуры населенного пункта или выбранной местности. Автоматизированные методы могут быстро обрабатывать большие объемы данных, что особенно важно в условиях постоянного роста количества спутниковых снимков и аэрофотоснимков, которые помогают отслеживать изменения на местности.[8-9]

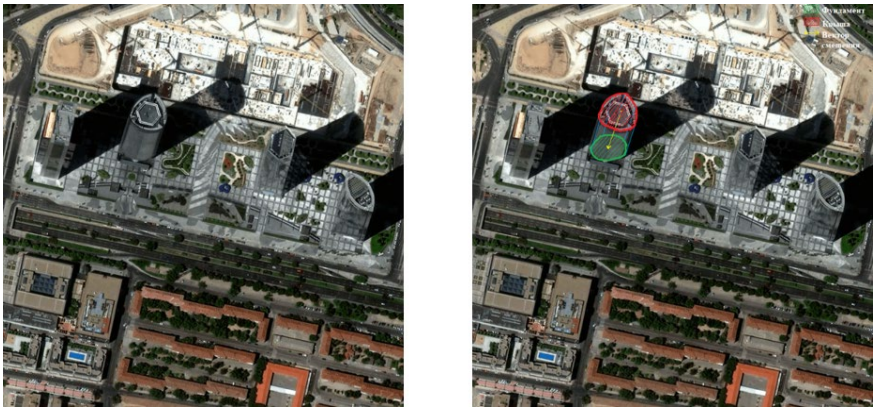
Извлечение контуров зданий с аэроснимков необходимо для точного картографирования городов с помощью фотограмметрических технологий компьютерного зрения. Существующие подходы в основном предполагают, что крыша и контур здания хорошо совпадают, что может не соответствовать действительности на аэроснимках с ненадирным углом съемки, так как между ними часто существует значительное смещение.

1. Существующие подходы

В последнее время решения на основе глубокого обучения [10-12] показали многообещающие результаты в АИКС, благодаря мощным возможностям глубоких моделей в обучении представлениям. Однако методы АИКС, упомянутые выше, в основном фокусируются на изображениях с почти вертикальной съемкой, где проекции крыши и контура здания обычно хорошо совпадают, и проблема сводится к извлечению видимых крыш зданий.

Лишь немногие из них могут работать с офф-надирных изображениями, которые часто получаются при большом угле зрения аэрофотосъемочной системы (например, больше 25 градусов). Пример офф-надирных изображений и модель здания в них проиллюстрированы на рис. 1. Можно заметить, что для здания на офф-надирных изображениях часто наблюдается заметное смещение между проекциями крыши и контура. Более того, граница контура здания частично видна и сильно закрыта фасадом. Все это создает большие

трудности для точного обнаружения контуров зданий на офф-надирных изображениях.



а б

Рис. 1. Модель здания на офф-надир снимке: *а*– оригинальный снимок при офф-надире, *б* – модель здания

Несмотря на трудности, существует большой спрос на извлечение контуров зданий на уровне пикселей с ненадирных изображений, как, например, в задаче SpaceNet 4[13](соревнования).Контуры крыши и здания часто совпадают для большинства одиночных зданий в городской среде, однако все так же остаются нерешенными следующие проблемы:

– Геометрические искажения:

Объекты на изображениях, снятых под углом, выглядят деформированными. Трудности в определении точных границ объектов.

– Окклюзия:

Части объектов могут быть скрытыми за другими объектами или элементами инфраструктуры. Сложность в создании полных масок оснований зданий.

– Изменение перспективы:

Объекты на переднем плане кажутся больше, чем на заднем. Необходимость учета перспективных изменений при создании масок

Целью настоящей работы является устранения влияния выше перечисленных проблем на результаты обработки снимков, а так же возможное замещение существующих методов, путем разработки методики извлечения данных из офф-надир снимков при помощи методов глубокого обучения нейронный сетей.

2. Методы исследований

Современные модели глубокого обучения значительно улучшили точность и устойчивость методов сегментации. Такие модели, как PANet[14], Mask R-CNN[15] и HRNet-v2[16], демонстрируют высокую производительность и адаптивность в различных условиях съемки. Они способны автоматически выделять признаки и обучаться на больших объемах данных, что делает их достаточно хорошими вариантами решения задач сегментации зданий. Однако они также сталкиваются с определенными вызовами:

– Необходимость в большом количестве размеченных данных для тренировки.

Данные должны иметь хорошее разрешение(от 1 м. на пиксель), иметь качественную разметку зданий, а также полную информацию о угле съемке, месте, для дальнейшего синтезирования дополнительных данных[17]

– Высокие вычислительные затраты.
– Трудности в интерпретации и объяснении результатов модели.

Mask R-CNN[15]: Расширение Faster R-CNN, добавляющее задачу сегментации к обнаружению объектов. Mask R-CNN позволяет одновременно обнаруживать и сегментировать объекты на изображении, что делает её мощным инструментом для анализа спутниковых снимков.

PANet[14]: Основное преимущество заключается в ее способности улучшать поток информации через всю сеть, что обеспечивает более точное определение границ и контуров объектов на изображениях.Данная архитектура отличается несколькими ключевыми моментами:дополнение пути снизу вверх(улучшение всей иерархии признаков, включая точные сигналы локализации из нижних слоев), адаптивное извлечение признаков(Эта технология связывает сетку признаков и все уровни признаков, позволяя полезной информации на каждом уровне эффективно использоваться в последующих подсетях предложений. Это обеспечивает точное использование релевантной информации при сегментации объектов.) и дополнительные ветви(захватывают различные виды для каждого предложения, улучшая предсказание масок).

HRNet-v2[16]: Основные преимущества HRNet-v2: высокое разрешение(сохраняет высокое разрешение на всех уровнях сети, что позволяет лучше сохранять детали изображений и улучшает точность детектирования и сегментации), устойчивость к изменениям масштаба (благодаря своей структуре, лучше справляется с объектами различных размеров, что делает его идеальным для приложений, требующих высокой точности на разных масштабах), многоуровневая связность

(архитектура использует многоуровневые связи, что позволяет обмениваться информацией между различными частями сети и улучшает общую производительность),гибкость и масштабируемость

Основной нерешенной проблемой являются геометрические искажения при офф-надире [18-21].

3. Проблематика геометрических искажений при офф-надире

Когда съемка осуществляется при офф-надире, изображения объектов на земле испытывают значительные геометрические искажения. Эти искажения вызваны тем, что объекты, которые находятся дальше от центра изображения, кажутся деформированными из-за угла съемки. Это создает множество проблем при автоматическом формировании масок оснований зданий, большинство которых можно отнести к одной тематике: деформация объектов и изменение их размеров.

4. Предлагаемая методика решения

Вместо прямого извлечения контуров зданий предлагается решать проблему автоматического извлечения контуров зданий на ненадирных изображениях, одновременно изучая крышу здания на уровне экземпляра и соответствующий вектор смещения к контуру для каждого здания.

К типичным методам сегментации, таким как MaskR-CNN, можно применить offset head в целях предсказания вектора смещения "крыша-контур" для каждого здания.Контуры зданий затем оцениваются путем перевода предсказанных масок крыш в соответствии с предсказанными векторами смещения. Поскольку крыши видны для большинства зданий, а векторы смещения фактически встроены в видимые структуры фасадов, данный метод может достичь лучшей производительности АИКЗ, чем методы, которые напрямую моделируют контуры зданий.

Замечая, что длина вектора смещения "крыша-контур" в основном зависит от высоты здания, в то время как угол вектора смещения чувствителен к углу обзора системы съемки, можно сделать вывод, что этот вектор может плохо сходиться при обучении offset head с ограниченным количеством обучающих выборок смещения.

Основная трудность извлечения границ для всех зданий – частичная видимость зданий, может быть решена путем обучения с учителем глубокой модели АИКЗ на наборе из N данных с метками уровня экземпляра D, описанной в формуле(1),

$$D = \{(I_i, T_i); i = 1,..., N\}, \quad (1)$$

где T_i является соответствующей меткой зданий, содержащихся на изображении I_i в наборе данных D. В частности, Ti состоит из K контуров(2)

$$\{f_i^j; j = 1,...K\} \tag{2}$$

Причем $f_i^j \in R^{2xM}$ представлен в виде многоугольников с M вершинами.

Более того, поскольку контуры зданий частично видимы, а крыша всегда полностью видна, задача может быть преобразована в оценку крыши, связанной с вектором смещения к контуру для каждого здания.

Таким образом, каждая метка контура f_i^j в наборе данных D соответствует метке крыши r_i^j дополнительной метке смещения $o_i^j \in R^2$,которая представляет собой вектор смещения от крыши к контуру j-го здания на изображении I_i. Поэтому аннотированные данные можно представить в виде формулы(3):

$$D = \{(I_i, \{f_i^j, r_i^j, o_i^j\}_{j=1}^K); i = 1,..., N\} \tag{3}$$

Пример аннотации на уровне экземпляра здания на ненадирных изображениях показан на рис.1.

Проблему АИКЗ следует рассматривать как задачу оценки крыши здания на уровне экземпляра и одновременного предсказания её вектора смещения. Для изучения вектора смещения на уровне экземпляра для каждого здания, введем вектора смещения в рамках сегментации экземпляров сверху вниз, как показано на рис. 1.

Для уточнения предсказания вектора смещения и уменьшения влияния шумов, возможна разработки и внедрение отдельного модуля увеличения смещения на уровне признаков.

Предполагаемая модель может решить проблему АИКЗ на офф-надир изображениях путем предсказания крыш и их связанных векторов смещения к контурам зданий с использованием набора данных D. Идея концептуально проста: добавление нового вектора смещения для изучения вектора смещения в рамках сегментации экземпляров сверху вниз, используемую для обучения крыш зданий. Идейно, предлагаемая модель может работать с многими предлагаемыми ранее моделями сегментации.

Общая предлагаемая архитектура иллюстрируется на рис. 2. Для обучения модели требуются истинные метки ограничивающих прямоугольников зданий (B-Bbox)(4),представленный в виде множества(5), маски крыш(R-Mask)(6), в виде многоугольника из

Мвершини вектора смещения(offset)(7). Эта информация может быть получена из меток T_i (8)

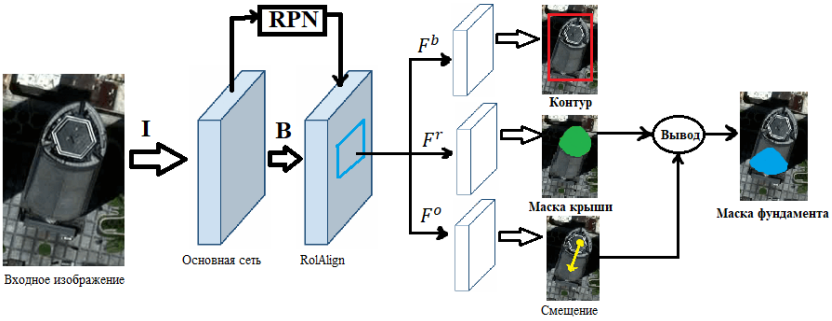
$$\{b_i^j\}_{j=1}^K : b_i^j \in R^4 \tag{4}$$

$$\{(x_i^j, y_i^j), w_i^j, h_i^j\} \tag{5}$$

$$\{r_i^j\}_{j=1}^K : r_i^j \in R^{2xM} \tag{6}$$

$$\{o_i^j\}_{j=1}^K \tag{7}$$

$$T_i = \{f_i^j, o_i^j\}_{j=1}^K \tag{8}$$



Основойслужит ResNet с Feature Pyramid Network (FPN), а RPN обозначает Region Proposal Network. Слои RoIAlign создают карты признаков F^b, F^r и F^o для генерации ограничивающего прямоугольника здания, маски крыши и вектора смещения. Маска контура фундамента является финальной.

Рис. 2. Схема предлагаемой архитектуры(основанная на MaskR-CNN).

На этапе обучения, используя набор данных с метками D, входное изображение I подается в базовую сеть, которая производит карту признаков базы B, как показано на рис.2. Затем Region Proposal Network (RPN) [22] использует карту признаков B в качестве входных данных для генерации предложений регионов P. Далее три слоя RoI Align [15] принимают каждое предложение (9)

$$p_i = (x_i, y_i, w_i, h_i) \in P \tag{9}$$

из P и B в качестве входных данных для вычисления карт признаковиз P и B в качестве входных данных для вычисления карт признаковF^b, F^rи

F^o, где p_iобозначает i-е предложение для здания, F^b, F^rи F^o являются картами признаков ограничивающего прямоугольника здания, маски крыши и вектора смещения соответственно в R-CNN head, mask head и offset head. R-CNN и mask heads наследуются от Mask R-CNN [15]. Для вектора смещения карта признаков F^o используется в качестве входных данных и состоит из нескольких сверточных и полностью связанных слоев. Обратите внимание, что истинные метки для RPN и R-CNN head являются ограничивающими прямоугольниками зданий, поскольку поле зрения сети в векторе смещения должно охватывать крышу и контур одновременно для регрессии вектора смещения, то есть информация о векторе смещения встроена в видимую структуру фасада здания.

Архитектура в конечном итоге получается путем минимизации совместной функции потерь (10).

$$L = L_{RPN} + a_1 L_{R-CNN} + a_2 L_{Mask} + a_3 L_{offset}, \tag{10}$$

Где L_{RPN}, $L_{R\text{-}CNN}$, L_{MASK} те же, что и в MaskR-CNN, то есть потери для RPN, R-CNNи maskheadscoответственно. L_{offset} – это потеря для вектора смещения, где используется стандартная smooth L_1 Loss. Для ускорения сходимости вектора смещения используются функции кодирования (11).

$$\varphi_x = \frac{o_x}{w^p}, \varphi_y = \frac{o_y}{h^p}, \tag{11}$$

где w^pи h^p – ширина и высота соответствующего предложения$p_m \in P$, $[o_x, o_y]^T$ - истинный вектор смещения, а $[\varphi_x, \varphi_y]^T$- закодированный вектор смещения для регрессии.

Во время стадии предсказания используется предсказанные векторы смещения для преобразования предсказанных масок крыш в контуры. Конкретно, предсказанная маска крыши сначала будет представлена многоугольником $r \in R^{2xM}$с M вершинами с помощью алгоритма топологического структурного анализа [23]. Контурный многоугольник f в конечном итоге вычисляется путем смещения многоугольника крыши r с предсказанным смещением$\hat{o} = [\hat{o}_x, \hat{o}_y]^T$.

Новизна предлагаемого решения состоит в внедрении вектора смещения масок при использовании методов глубокого обучения НС, что, в отличие от известных способов, позволяет улучшить извлечение контуров здания при геометрических искажениях или окклюзиях.

Заключение

Проблема автоматического извлечения контуров зданий на офф-надирных изображениях актуальна из-за частичного перекрытия зданий и сложностей с точным определением их границ.Предлагаемая методика

решает эту задачу, одновременно анализируя крыши зданий и соответствующие векторы смещения к контурам.

В данной работе была рассмотрена проблема извлечения контуров зданий на офф-надирных изображениях. Используя свойства, что контуры зданий частично видимы, а крыша полностью видна на офф-надирных изображениях, возможно декомпозировать проблему извлечения контуров зданий на задачу извлечения крыши здания с наложением регрессии вектора смещения "крыша-контур". Предлагаемый offset head можно легко применить к любому методу сегментации экземпляров сверху вниз, что делает данный подход более гибким и универсальным.

Кроме того, возможна интеграция модуля увеличения смещения на уровне признаков для уточнения предсказания вектора смещения, избегая значительных дополнительных вычислений, характерных для традиционного увеличения на основе изображений.

Список литературы

1. Benedek, C. Building development monitoring in multitemporal remotely sensed image pairs with stochastic birth-death dynamics / C. Benedek, X. Descombes, J. Zerubia // IEEE: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2011. – Vol. 34. – Iss. 1. – P. 33-50.

2. Boundary-aware 3d building reconstruction from a single overhead image / J. Mahmud [et al.] // 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (Seattle, WA, 13-19 June 2020). – Seattle, 2020. – P. 441-451

3. Yuan, J. Learning building extraction in aerial scenes via convolutional network / J. Yuan // IEEE: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2018. – Vol. 40. – Iss. 11. – P. 2793-2798.

4. Learning deep structured active contours end-to-end / L. Zhang [et al.] // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Salt Lake City, 18-23 June 2018). – Salt Lake City, 2018. – P. 8877-8885

5. Shufelt, J. A. Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from aerial imagery / J. A. Shufelt // IEEE: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1999. – Vol. 21. – Iss. 4. – P. 311-326.

6. Ortner, M. A marked point pro cess of rectangles and segments for automatic analysis of digital elevation models / M. Ortner, X. Descombes, J. Zerubia // IEEE: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2007. – Vol. 30. – Iss. 1. – P. 105-119.

7. Inglada, J. Automatic recognition of man-made objects in high resolution optical remote sensing images by svm classification of geometric

image features / J. Inglada, // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2007. – Vol. 62. – Iss. 3. – P. 236-248.

8. NaGAN:Nadir-like Generative Adversarial Network for Off-Nadir Object Detection of Multi-View Remote Sensing Imagery / Lei Ni [et al.] // Remote sensing (MDPI). – 2022. – Vol. 14. – Iss. 4. – 20p.

9. Mask-RCNN-for-Off-Nadir-Building-Detection. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://github.com/ashnair1/Mask-RCNN-for-Off-Nadir-Building-Detection.

10. Darnet: Deep active ray network for building segmentation / D. Cheng [et al.] // 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Long Beach, CA, 15-20 June 2019). – Long Beach, 2019. – P. 7431-7439.

11. Map-net: Multiple attending path neural network for building footprint extraction from remote sensed imagery / Q. Zhu [et al.] // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2020. – Vol. 59. – Iss. 7. – P. 1-13.

12. Li, M. Approximating shapes in images with low-complexity polygons / M. Li, F. Lafarge, R. Marlet // 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (Seattle, WA, 13-19 June 2020). – Seattle, 2020. – P. 8633-8641.

13. SpaceNet 4: Off-Nadir Buildings // Spacenet.ai [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://spacenet.ai/off-nadir-building-detection/

14. Path aggregation network for instance segmentation / S. Liu [et al.] // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Salt Lake City, 18-23 June 2018). – Salt Lake City, 2018. – P. 8759-8768.

15. Mask R-CNN / K. He [et al.] // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) (Venice, Italy, 22-29 Oct. 2017). – Venice, 2017. – P. 2961-2969

16. High-resolution representations for labeling pixels and regions / K. Sun [et al.] // CoRR. – 2019. – 13p.

17. S2Looking: ASatelliteSide-Looking Dataset for Building Change Detection. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/357087432_S2Looking_A_Satellite_Side-Looking_Dataset_for_Building_Change_Detection

18. Geometric Distortion in Imagery // Goverment Of Canada [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/satellite-imagery-elevation-data-and-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/satellites-and-sensors/geometric-distortion-imagery/9401

19. SpaceNet MVOI: a Multi-View Overhead Imagery Dataset / N. Weir [et al.] // 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) (Seoul, Korea, Oct. 27 – Nov. 2 2019). – Seoul, 2019. – P. 992-1001.

20. Highly Accurate Geometric Correction for Seriously Oblique Aero Remote Sensing Image Based on the Piecewise Polynomial Model / Ch. Wang [et al.] // Journal of Computational Information Systems. – 2011. – Vol. 7. – Iss. 2. – P. 342-349.

21. An Effective Correction Method for Seriously Oblique Remote Sensing Images Based on Multi-View Simulation and a Piecewise Model / Ch. Wang [et al.] // Sensors (MDPI). – 2016. – Vol. 16. – Iss. 10. – 16 p.

22. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks / S. Ren // 29th Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2015 (NeurIPS) (Montreal, Canada, 7-12 December 2015). – Montreal, 2015. – P. 91-99.

23. Topological structural analysis of digitized binary images by border following / S. Suzuki [et al.] // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1985. Vol. 30. – Iss. 1. – P. 32-46.

Выбор программных решений и компьютерных моделей при разработке картографического приложения PhotoMap

Е. С. Воронежская, email: katyamit5@gmail.com
Е. А. Михайлюк, email: mikhaylyuk@vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В фокусе статьи находится анализ методов построения и распознавания маршрутов и программных решений для создания картографического веб-приложения PhotoMap. Выбор инструментов разработки базируется на таких критериях, как производительность, гибкость, удобство интеграции и возможность персонализированных рекомендаций.*

Ключевые слова: *картографический сервис, интеграция, анализ маршрутов.*

Введение

Актуальность разработки картографического приложения PhotoMap определяется следующими факторами: быстрота обновления данных (достоверность и актуальность), широкие дополнительные возможности (навигация, запись треков маршрута, заметки, поиск объектов по координатам), наличие аналитических функций (картометрические функции, поиск оптимального маршрута, статистический анализ, построение профиля).

Существует два метода построения и распознавания описания маршрута: пошаговая инструкция и изображение траектории. Пошаговая инструкция представляет собой последовательность действий, строгое выполнение которых приводит пользователя из стартовой в финишную точку. Этот метод позволяет получить детальную информацию о каждом этапе пути, включая приблизительную сложность и продолжительность маршрута. Однако он не предоставляет общего представления о направлении движения и расположении маршрута относительно значимых объектов, что затрудняет ориентацию на местности.

Изображение траектории, напротив, представляет маршрут в виде ломаной линии на карте, что позволяет быстро понять общее направление движения и расположение маршрута относительно крупных объектов, таких как города и улицы. Однако этот метод не

© Воронежская Е. С., Михайлюк Е. А., 2025

обеспечивает детальной информации о мелких элементах маршрута, что может создать трудности при движении по незнакомой местности [1].

Для задания маршрута используются два подхода: расстановка опорных точек на карте с автоматическим построением пути между ними и добавление точек транзита с корректировкой маршрута. Эти методы имеют свои ограничения, связанные с количеством транзитных точек и возможностью точной настройки маршрута. В приложении PhotoMap оба метода дополняют друг друга, предоставляя пользователю оптимальные возможности для построения и анализа маршрутов.

1. OpenStreetMap для отображения карт

Для отображения карт на портале PhotoMap выбран OpenStreetMap (OSM) – проект по созданию открытой и свободной карты мира. Пользователи активно вносят изменения, добавляя и обновляя географическую информацию.

OSM был основан в 2004 году С.Костом, разочаровавшимся в доступности электронных карт Великобритании. С тех пор проект значительно вырос, превратившись в массовое движение с более чем 50 тысячами участников.

Ключевой особенностью OSM является наличие инструментов для автоматического ввода данных, собранных с помощью GPS, что обеспечивает регулярное обновление карт. Популярность проекту принесла также компания "Клаудмейд", разработавшая коммерческие продукты на основе данных OSM [2].

Использование OpenStreetMap позволяет избежать зависимости от сторонних поставщиков данных, обеспечивая контроль и гибкость в их использовании. Эти преимущества делают его отличным выбором для отображения карт в PhotoMap.

2. Leaflet для построения маршрутов

Для работы с картами и построения маршрутов выбран Leaflet.

Leaflet – это JavaScript-библиотека с открытым исходным кодом для создания интерактивных карт. Она проста в использовании, высокопроизводительна и работает на всех основных платформах [3].

Сообщество разработчиков создало множество плагинов для расширения функциональности Leaflet, которая отличается компактным размером (около 38 КБ) и удобством по сравнению с OpenLayers.

В статье «Web Mapping Service for Mobile Tourist Guide» [4] описана успешная реализация картографического веб-сервиса с использованием OpenStreetMap и Leaflet, демонстрирующая высокую производительность системы при нагрузках.

3. Алгоритмы построения маршрутов в OpenStreetMap и Leaflet

Для построения маршрутов в OpenStreetMap (OSM) и Leaflet используются сложные алгоритмы графовой теории, позволяющие эффективно находить оптимальные пути между точками на карте. Основной алгоритм, применяемый в этих системах, – это алгоритм Дейкстры, разработанный в 1956 году нидерландским математиком Эдсгером Дейкстрой. Этот алгоритм ищет кратчайший путь в графе с положительными весами рёбер и широко используется в навигационных системах благодаря своей точности и надёжности.

Однако в современных системах маршрутного построения алгоритм Дейкстры часто заменяется или дополняется его более оптимизированной версией – алгоритмом A* (A-star). Этот алгоритм учитывает не только расстояние между узлами, но и эвристическую функцию, оценивающую расстояние до цели. Благодаря этому алгоритм A* значительно ускоряет поиск маршрута, что особенно важно при построении маршрутов в реальном времени [5].

Leaflet полагается на сторонние плагины и серверные решения для выполнения расчётов маршрутов. Один из популярных плагинов – Leaflet Routing Machine, который интегрируется с различными сервисами, такими как OSRM (Open Source Routing Machine), GraphHopper и Valhalla. Эти сервисы используют предварительную обработку данных OSM, создавая индексированные структуры графов, что позволяет ускорить процесс расчёта маршрутов.

OSRM, например, применяет технику «контракции иерархий», которая уменьшает размер графа и ускоряет вычисления. Этот метод особенно эффективен для поиска маршрутов на больших расстояниях, так как позволяет быстро исключать неперспективные пути.

4. Прочие инструменты

В работе [6] содержится описание бизнес-процессов приложения PhotoMap. Приложение позволяет эффективно организовать маршруты, сохранять их для последующего использования и получать персонализированные рекомендации, что значительно повышает удобство и качество взаимодействия пользователей с географической информацией.

Веб-приложение будет разработано на платформе .NET. В процессе разработки будут использованы следующие инструменты:

1. C# выбран в качестве основного языка программирования ввиду его высокой производительности и глубокой интеграции в экосистему .NET.

2. PostgreSQL используется в качестве системы управления базами данных благодаря её надежности, расширяемости и поддержке сложных запросов.

3. Git применён для управления версиями, обеспечивая эффективное отслеживание.

4. ASP.NET Core – это кроссплатформенный фреймворк с открытым исходным кодом для создания современных веб-приложений, который отличается высокой производительностью и поддержкой современных стандартов [7].

5. Entity Framework Core предоставляет удобный способ взаимодействия с базой данных на основе подхода ORM (объектно-реляционное отображение).

6. IdentityServer обеспечивает управление безопасностью и авторизацией, включая управление пользователями, ролями и безопасным доступом к функциональности.

7. Swagger используется для автоматизации создания и обслуживания API, а также упрощения его тестирования.

8. Leaflet – легковесная JavaScript-библиотека для работы с интерактивными картами.

9. React.js выбран для создания клиентской части приложения, так как он хорошо подходит для построения динамических и отзывчивых интерфейсов.

10. Firebase используется для хранения загружаемых пользователями фотографий. Это облачное решение обеспечивает масштабируемость, безопасность и высокую скорость доступа к данным.

11. Для автоматической модерации загружаемого контента будет использован Google Cloud Vision API. Это бесплатный инструмент, который позволяет анализировать изображения и определять наличие запрещённого или нежелательного контента.

12. Для построения системы рекомендаций будет использоваться ML.NET. Пользователи будут получать рекомендации локаций, которые будут строиться на основе их положительных оценок (лайков). ML.NET – это кроссплатформенная библиотека с открытым исходным кодом от Microsoft, предназначенная для создания и развертывания моделей машинного обучения непосредственно в приложениях .NET [6]. Она позволяет использовать язык C# для интеграции машинного обучения. Выбор ML.NET для построения системы рекомендаций обусловлен его простотой, возможностью работать с данными из базы данных, а также наличием встроенных алгоритмов, таких как Matrix Factorization.

Заключение

В данной работе представлен анализ методов построения и распознавания маршрутов, а также рассмотрены программные решения для создания картографического веб-приложения PhotoMap. Основное внимание уделено использованию инструментов OpenStreetMap и Leaflet для отображения и построения маршрутов, где применяются алгоритмы графовой теории для эффективного поиска оптимальных путей. Выбор инструментов разработки обоснован их производительностью, гибкостью и удобством интеграции. Важным элементом системы является использование Firebase для хранения изображений и Google Cloud Vision API для автоматической модерации контента. Также предложена система рекомендаций на основе пользовательских предпочтений с использованием ML.NET, что позволяет эффективно анализировать данные и предоставлять персонализированные рекомендации. Такой подход обеспечивает надежное, масштабируемое и удобное в использовании решение для пользователей.

Список литературы

1. Пестун, М.В. Методы построения навигационных описаний маршрутов для картографических компьютерных систем: дисс. канд. физ.-мат. наук: 05.13.11. – Москва, 2015. – 115 с.
2. Arsanjani, J.J. An Introduction to OpenStreetMap in Geographic Information Science: Experiences, Research, and Applications / J.J. Arsanjani, A. Zipf, M. Helbich // OpenStreetMap in GIScience. – 2015. – P. 1-15.
3. Bhatia, T. S. Web GIS Development using Open Source Leaflet and Geoserver Toolkit / T. S. Bhatia, H. Singh, P.K. Litoria : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/326971834_Web_GIS_Development_using_Open_Source_Leaflet_and_Geoserver_Toolkit
4. Teslya, N. Web mapping service for mobile tourist guide / N. Teslya // Open Innovations Association FRUCT, Proceedings of 15th Conference of IEEE. – St-Petersburg, 2014. – P. 135-143.
5. Максимова, Е. И. Сравнение качества результатов алгоритма «a star» и его модификации для дорожной сети при выборе маршрута с учетом направления движения на перекрестке. / Е. И. Максимова // Векторы благополучия: экономика и социум. – 2014. – С. 117-122.
6. Михайлюк, Е.А. Обоснование создания приложения для планирования маршрутов в сфере туризма / Е. А. Михайлюк, Е. С. Воронежская // Информатика: проблемы, методы, технологии. – 2024. – С. 88-92
7. Документация по ML.NET [Электронный ресурс] : техническая документация. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/machine-learning/

Интеграция GPT в iOS-приложение «Органайзер»

К. С. Зезюков, e-mail: zezuykov@mail.ru
И. Е. Воронина, e-mail: irina.voronina@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе рассматривается выбор API для интеграции GPT в iOS-приложение «Органайзер», а также дополнительные возможности с использованием ChatGPT в приложении-органайзере.*

Ключевые слова: *Искусственный интеллект, ChatGPT, iOS-приложение, приложение-органайзер.*

Введение

Современные технологии быстро развиваются и изменяют нашу повседневную жизнь, упрощая выполнение различных задач и предоставляют удобные инструменты для управления временем и ресурсами. В этом контексте мобильные приложения стали неотъемлемой частью жизни, предлагая пользователям широкие возможности для организации своей деятельности. Одной из ключевых сфер применения мобильных технологий является управление задачами и напоминаниями, что особенно актуально в условиях высоких темпов жизни. С развитием технологий искусственного интеллекта появилась возможность интеграции интеллектуальных систем, таких как GPT, в мобильные приложения. Эта технология может обрабатывать сложные запросы на естественном языке, генерировать текст, адаптированный под потребности пользователя, и повышать общую продуктивность приложений.

Приложение-органайзер имеет достаточно традиционный формат подобных приложений для организации и планирования задач.

Модели GPT дают возможность приложениям генерировать текст и контент (изображения, музыку и многое другое), похожий на созданный человеком, и отвечать на вопросы в разговорной манере. Организации из разных отраслей используют модели GPT и генеративный искусственный интеллект для ботов вопросов и ответов, краткого изложения текста, генерации контента и поиска.

GPT-помощник способен не только выполнять базовые задания как чат-бот, но и создавать задачи, анализировать расписание в рамках приложения. Кроме того, он может сократить время разработки

© Зезюков К. С., Воронина И. Е., 2025

определенных функциональных требований, связанных с генерацией и анализом текстов пользователей.

Представляется интересным расширить iOS-приложение «Органайзер» интеллектуальным помощником на основе GPT. Такое приложение будет сочетать в себе функциональность классического менеджера задач, но с преимуществами GPT, тем самым предоставляя пользователям дополнительные возможности.

Рассмотрим способы интеграции GPT в приложение-органайзер, начиная от анализа API, популярных на рынке решений, и заканчивая набором функций, которые могут быть реализованы.

1. Выбор API для интеграции

Приложение-органайзер – это программное обеспечение, предназначенное для управления задачами, временем и проектами. Оно помогает пользователям планировать задачи, устанавливать приоритеты, отслеживать прогресс и планировать действия. Стандартные функции приложения-органайзера:

– создание и управление задачами;

– календарь (позволяет пользователям видеть свои задачи и события в одном месте);

– напоминания и уведомления;

– возможность группировать задачи и события;

– возможность совместной работы.

На сегодняшний день существуют множество приложений с данными функциями. Например, Trello, Todoist, Slack и другие.

С целью определения необходимой функциональности для приложения рассмотрим наиболее популярные решения. На данный момент существует два наиболее популярных решения — YandexGPT (Яндекс) и ChatGPT (OpenAI). Следует заметить, что для разработки мобильного приложения не так важен сам продукт, который предоставляет компания, а его API, для интеграции продукта в мобильное приложение.

1. YandexGPT – генеративная модель от Яндекса.

YandexGPT – это генеративная языковая модель, которая создаёт тексты. Например, может написать письмо или статью, краткий пересказ текста, дать совет и указать, если это поисковой запрос укажет ссылки на ресурсы, с которых взята информация [1].

Преимущества:

– можно создать сценарий и роль для ответа на вопрос;

– документация к API доступна на русском языке;

– возможность бесплатного тестирования API;

– возвращается ссылки, где была найдена информация.

Недостатки:

– нет библиотек для интеграции клиента с сервером;

– низкая способность генерации текста, так как в первую очередь модель предназначена для поиска;

– отсутствие подробной документации для продвинутого использования;

– нет возможности отправлять изображения, файлы и аудиозаписи.

2. ChatGPT – генеративная модель от OpenAI.

ChatGPT – это чат-бот, созданный компанией OpenAI с использованием технологий генеративного искусственного интеллекта. Он предназначен для ведения диалогов и обработки запросов на естественном языке. Система может отвечать на вопросы и создавать тексты на многих языках, включая русский, независимо от темы. Одной из главных функций ChatGPT является способность по запросу генерировать код на различных языках программирования [2].

Преимущества:

– можно создать сценарий и роль для ответа на вопрос в JSON файле;

– большое количество библиотек для интеграции модели;

– подробная документация;

– высокая способность генерации текста;

– бесплатное использование для тестирования;

– можно отправлять изображения, аудиозаписи и другие файлы.

Недостатки:

– отсутствие русскоязычной документации.

Таким образом, YandexGPT API сильно проигрывает, так как его функциональность ограничена и недостаточно документирована. ChatGPT API снабжен достаточно подробной документацией, пусть и на английском языке.

Для интеграции ChatGPT в iOS-приложение существует два варианта подключения: с помощью установки библиотек, представленных на сайте OpenAI, и напрямую с помощью HTTP запроса.

Для аутентификации нужно сгенерировать API токен (специальный идентификатор) на сайте OpenAI для дальнейшего взаимодействия с моделью [3].

2. Дополнительные возможности при использовании ChatGPT в приложении-органайзере

Помимо стандартных функций приложения-органайзера существует чат для общения с GPT-помощником, который выполняет базовые функции ChatGPT, как чат-бота. Можно задать почти любой вопрос и получить ответ [4].

Промпт – определенный сценарий или роль, которую задает пользователь чат-боту для уточнения предметной области, о которой далее пойдет речь. Пользователь приложения может задать чат-боту определенный промпт для более точного предмета разговора, например, профессиональный тренер или садовник и так далее. Промпт можно добавить в выпадающий список в чате или задать непосредственно в начале сообщения чат-боту [5].

Рассмотрим пример, как пользователь может создать задачу с помощью чат-бота. Например, пользователю необходим график полива конкретного растения. Для этого он нажимает кнопку «Создать задачу», приложение получает сигнал и добавляет сценарий выполнения запроса к JSON файлу. Файл будет отправлен на сервер с GPT моделью. Далее для более удобной обработки ответа введем понятие «Тег». Тег – это условная метка в тексте для упрощения обработки ответа от чат-бота на клиенте приложения. Например, запрос может выглядеть следующим образом: «Необходимо обернуть дни недели полива в тег <watering>». Клиент отправляет данное сообщение на сервер и получает ответ, представленный на рисунке:

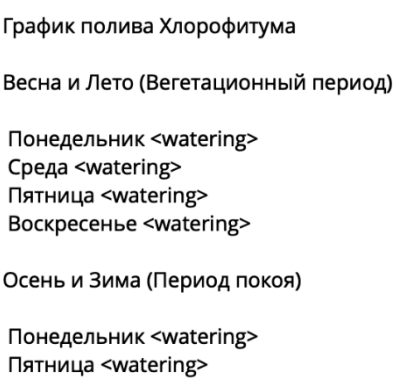


Рисунок. Пример ответа.

Далее этот ответ обрабатывается и находится слово стоящие перед тегом, в данном случае – «дни недели», которое соответствуют заданному заранее определенному типу перечислений (листинг):

Листинг

```
enum DayOfWeek: String {
  case monday = "Понедельник"
  case tuesday = "Вторник"
  case wednesday = "Среда"
  case thursday = "Четверг"
  case friday = "Пятница"
  case saturday = "Суббота"
  case sunday = "Воскресенья"
}
```

Далее составляется расписание отправки уведомлений пользователю по дням недели. Данная функция может работать не всегда корректно, так как ChatGPT не совсем предназначен для конкретно этой задачи. Пользователь может ввести не совсем точный и подробный запрос. На рисунке, представленном выше, можно заметить, что дни недели осенью и зимой отличаются от весны и лета, отсюда появляется проблема – невозможности задать график для объектов, у которых есть состояние. Можно избежать этого путем добавления разделов, связанных с определенной тематикой.

Рассмотрим другой пример: как ChatGPT может помочь с анализом расписания пользователя. Например, пользователь хочет проанализировать свое расписание и понять какие дни у него свободны. Для этого он нажимает кнопку в чате приложения «Проанализировать расписание». В приложении существует локальная база данных, которая состоит из двух сущностей: «Разовые события», которые выполняются один раз и «Постоянные события», которые выполняются постоянно с некоторым интервалом времени. Пользователь может выбрать интервал, в котором ему нужен подобный анализ, допустим, неделя или месяц. После выбора интервала на сервер отправляется сообщение, содержащее шаблон ответа: в каком виде информация будет представлена пользователю, а также сведения из базы данных в указанном временном интервале. Если у пользователя на текущий момент такое расписание отсутствует, то выведется сообщение – «Для дальнейшей работы нужно составить расписание, чтобы чат-бот мог его проанализировать».

Заключение

Интеграция GPT позволяет расширить базовую функциональность приложения-органайзера, добавив в него чат-бота помощника, который

значительно повышает удобство и эффективность использования. Чат-бот может отвечать на вопросы, помогать с планированием задач, предлагать рекомендации, а также адаптироваться к стилю работы пользователя, делая взаимодействие более персонализированным. Также, в будущем можно дообучить GPT конкретно под базовые задачи приложения-органайзера.

Литература

1. YandexGPT-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ya.ru/ai/gpt-2
2. OpenAI introducing to ChatGPT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://openai.com/index/chatgpt/
3. OpenAI authentication [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://platform.openai.com/docs/api-reference/authentication
4. OpenAI API docs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://platform.openai.com/docs/overview
5. Yandex.Cloud quickstart YandexGPT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://yandex.cloud/ru/docs/foundation-models/quickstart/yandexgpt

Методы и средства построения специализированных версий универсальных Cloud Sisal программ

В. Н. Касьянов, email: kvn@iis.nsk.su [1,2]
Е. В. Касьянова, email: kev@iis.nsk.su [1,2]
А. А. Малышев, email: alex.m.work@yandex.ru [1]

[1] Институт систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН
[2] Новосибирский государственный университет

Аннотация. *В данном докладе рассматривается задача построения специализированных версий универсальных Cloud Sisal программ и подход к ее решению с помощью редуцирующих конкретизаций. Описывается кроссплатформенный Cloud Sisal компилятор облачной системы параллельного программирования CPPS, осуществляющий эти преобразования в процессе трансляции.*

Ключевые слова: *компилятор, конкретизация программ, теоретико-графовое представление, редуцирующие преобразования, система программирования, язык Cloud Sisal.*

Введение

Облачная система параллельного программирования CPPS, разрабатываемая в Институте систем информатики СО РАН (ИСИ СО РАН), доступна к использованию через веб-браузер и ориентирована на предоставление пользователю средств разработки, отладки, верификации и исполнения параллельных программ по их функциональным спецификациям на языке Cloud Sisal [1]. Язык Cloud Sisal продолжает традицию предыдущих версий языка SISAL [2, 3], оставаясь функциональным потоковым языком, ориентированным на написание больших научных программ, и расширяет их возможности средствами поддержки облачных вычислений.

Под конкретизацией программы, или, что, то же самое, оптимизацией программы в заданном контексте, понимается такое преобразование программы в рамках одного языка, при котором сохраняется смысл программы и повышается её качество в некотором заданном подмножестве её применений и относительно заданного критерия качества [4]. Класс редуцирующих конкретизаций характеризуется тем, что повышение качества программы с помощью редукций происходит не за счёт её перестройки, а за счёт удаления из

© Касьянов В. Н., Касьянова Е. В., Малышев А. А., 2025

универсальной программы объектов и конструкций, которые становятся избыточными в силу сужения множества решаемых задач.

В докладе рассматривается решение задачи построения оптимизированных специализированных версий универсальных Cloud Sisal программ в облачной системе параллельного программирования CPPS с помощью редуцирующих конкретизаций аннотированных программ. Описывается кроссплатформенный Cloud Sisal компилятор облачной системы параллельного программирования CPPS, осуществляющий эти преобразования в процессе трансляции.

1. Система CPPS и язык Cloud Sisal

Современные подходы к разработке параллельных программ в основном являются архитектурно-ориентированными, когда для достижения эффективной работы создаваемые программы тесно связаны с архитектурами параллельных вычислительных систем, на которых они выполняются и, как правило, разрабатываются. Поэтому требования к квалификации разработчиков параллельных программ весьма высоки, тем более, что протестировать и отладить параллельную программу намного сложнее, чем последовательную, а проблема верификации параллельных программ весьма далека от решения не только практически, но и теоретически. Причем, лишь у узкого круга отечественных пользователей есть доступ к высокопроизводительной вычислительной технике, которая по числу суперкопьютеров и их суммарной мощности весьма уступает имеющейся в развитых странах и сосредоточена в сравнительно небольшом числе мест, вне которых разработка параллельных программ не ведется, но работает основная масса прикладных программистов.

Поэтому представляется весьма перспективным выполняемый в ИСИ СО РАН проект по разработке языковых и программных средств, поддерживающих создание, верификацию и отладку архитектурно-независимых параллельных программ и их корректное преобразование в эффективный код параллельных вычислительных систем различных архитектур с помощью семантических преобразований.

Создаваемая облачная система CPPS [1] параллельного программирования на функциональном языке Cloud Sisal содержит как интерпретатор, поддерживающий диалоговое взаимодействие с пользователем при построении и отладке программы, так и оптимизирующий кросс-компилятор, осуществляющий построение параллельной программы на языке C# по ее функциональной спецификации. Цель – предоставить прикладному программисту возможности через браузер сначала создавать, верифицировать и отлаживать Cloud Sisal программу в визуальном стиле и без учета

целевого вычислителя, далее с помощью оптимизирующего кросс-компилятора производить настройку отлаженной Cloud Sisal программы на тот или другой супервычислитель, доступный ему по сети, а затем передавать построенную параллельную программу этому супервычислителю на счет и получать результаты.

Язык Cloud Sisal обладает обычными преимуществами языков функционального программирования, такими, как, например, однократное присваивание и детерминированные результаты для параллельной и последовательной реализации, но содержит массивы и циклы, а также поддерживает ошибочные значения, аннотированное программирование и конкретизацию программ.

Язык Cloud Sisal позволяет пользователю описывать известные ему семантические свойства программы в виде формализованных комментариев, называемых аннотациями (или прагмами). В частности, с помощью этих прагм пользователь может описывать суженный контекст применения универсальной Cloud Sisal программы.

Например, прагма «assert = булевское условие» может располагаться в заголовке определения функции перед первым формальным параметром и задавать условия на указанные в ней значения параметров, которые должны быть справедливы при любом вызове функции непосредственно перед выполнением тела данной функции. В частности, такое применение данной прагмы позволяет пользователю универсальной функции ограничивать значения параметров функции для ее специализации с помощью смешанных вычислений [5].

Другой пример – это прагма «non_used = список значений», которая позволяет сужать контекст применения универсальной программы путем сужения множества ее используемых результатов. Эта прагма, располагаемая перед ключевым словом «returns» в заголовке функции, содержит список тех значений, которые при любом вызове данной функции не используются и поэтому вычисление которых может быть удалено из тела функции.

2. Внутреннее представление Cloud Sisal программ

Система CPPS использует единое внутреннее графовое представление Cloud Sisal программ, которое ориентировано на их семантическую и визуальную обработку и основано на атрибутированных иерархических графах с портами [6].

В рамках этого представления осуществляется сборка программы из модулей перед ее интерпретацией или оптимизирующей трансляцией. При разработке внутреннего представления учитывались следующие существенные требования: машинная независимость,

полнота, возможность ретрансляции, простота интерпретации, структурированность объектов, явное представление всех неявных действий над данными, расширяемость.

Вершины графа внутреннего представления соответствуют выражениям Cloud Sisal программы, а дуги отражают передачи данных между портами вершин, упорядоченные множества которых приписаны вершинам в качестве их аргументов (входных портов или входов) и результатов (выходных портов или выходов). В силу свойства языка Cloud Sisal этот граф является ациклическим и не содержит двух дуг, заходящих в один и тот же вход.

Вершины графа описывают те действия над своими входами (аргументами), результаты которых поступают на выходы вершин и рассылаются по дугам на входы других вершин.

Вершины бывают простыми и составными.

Простые вершины (или просто вершины) не имеют внутренней структуры и представляют элементарные операции, такие как, например, плюс или минус. Существует специальный вид вершин, каждая из которых имеет один выход и пустое множество входов; они представляют литералы (константы).

Составные вершины (или фрагменты) соответствуют составным выражениям Cloud Sisal программы, таким как, например, циклическое выражение или тело функции. Каждый из фрагментов состоит из множества подфрагментов, представляющих подвыражения, из которых соответствующее составное выражение состоит. Любой из этих подфрагментов может быть тривиальным и состоять из одной простой вершины.

Предполагается, что дерево вложенности фрагментов является упорядоченным, т. е. сыновья любой вершины дерева линейно упорядочены. Причем эта упорядоченность вершин не противоречит направлению дуг, соединяющих порты.

Таким образом, граф внутреннего представления Cloud Sisal программ, в отличие управляющего графа, обычно используемого в оптимизирующих компиляторах для императивных языков, таких как Си или Фортран, выражает не поток управления, а поток данных в программе. Кроме того, он также сохраняет существующую иерархию языковых конструкций в транслируемой программе, обычно выражаемую в компиляторах в рамках такого промежуточного графового представления транслируемой программы, как дерево вывода.

Этот граф также обладает рядом полезных для требуемого внутреннего представления свойств, включая следующие два.

1. Явно заданные информационные (семантические) связи (дуги) между операндами операций (портами вершин) делают возможной интерпретацию без дополнительных преобразований. Это влечет отсутствие побочных эффектов вычислений (ввиду отсутствия понятия переменной) – естественного свойства чисто функциональных языков.

2. На уровне отдельных информационно независимых операций явно представлен параллелизм, который не зависит от машинной архитектуры.

3. Редуцирующие конкретизации Cloud Sisal программ

Был разработан набор редуцирующих конкретизаций для универсальных Cloud Sisal программ, охватывающий все основные конструкции языка и способы их специализации [7].

Большинство из этих преобразований являются бесконтекстными преобразованиями выражений языка Cloud Sisal, что существенно упрощает не только доказательства их корректности и целесообразности их применения, но и задачу их практической реализации.

Почти все преобразования из сформулированного набора являются эквивалентными. Исключения составляют преобразования константных действий над вещественными или комплексными значениями, которые могут быть некорректными из-за возможного изменения погрешности, связанного с тем, что компилятор запускается на вычислителе, отличном от целевого. Также не эквивалентными, но корректными (доопределяющими) являются некоторые аналитические преобразования типа замены на ноль такого выражения, которое имеет вид умножения на ноль некоторого подвыражения, из-за возможного ошибочного значения этого подвыражения.

Предполагается, что пользователь с помощью специальных прагм управляет применением неэквивалентных преобразований. Например, пользователь может включить применение доопределяющего аналитического преобразования к заданному выражению либо явно, потребовав безусловного (бесконтекстного) применения преобразования к той части программы, где это выражение находится, либо не явно, разместив прагму об отсутствии ошибок в программе так, чтобы заданное выражение находилось в области действия этой прагмы.

Условно набор редукций распадается на следующие подмножества.

1. Подстановка постоянного значения переменной. В силу того, что Cloud Sisal – язык однократного присваивания, если некоторой переменной в программе было присвоено константное значение или если в прагме задано, что эта переменная имеет константное значение, то указанное константное значение можно подставить на место данной переменной во всех местах, где она используется. Это преобразование

не является бесконтекстным, поскольку использует множество (например, в виде хеш-таблицы) обнаруженных при просмотре пар переменная-константное значение.

2. Множество редукций простых выражений, включающее константные вычисления и аналитические преобразования, которое состоит из 25 преобразований.

3. Множество редукций условных выражений, которое состоит из 13 преобразований. Cloud Sisal допускает условные конструкции двух видов: if и case. Естественной редукцией условного выражения является удаление всех ветвей, условия которых тождественно ложны или которые оказываются непроходимыми. В случае выражения if последнее означает, что, если существует ветвь с тождественно истинным условием, то все ветви, следующие за ней, могут быть удалены. Если после сокращения выражения if у него осталась только ветвь then или else, оно может быть заменено списком выражений результатов этой ветви. Если удаляется ветвь then, но сохраняется хотя бы одна ветвь elseif, булевское условие и подветвь then этой ветви могут быть подставлены на место булевского условия и ветви then обрабатываемого выражения. Если в результате сокращения у выражения if не осталось ветвей, то оно может быть заменено списком ошибочных значений той же размерности, что и возвращаемые ветвями первоначальной конструкции результаты. В случае выражения case, если все значения тестов тождественно ложны, то case может быть заменено содержимым ветви else или, в случае её отсутствия, списком ошибочных значений подходящей размерности.

4. Множество редукций выражения let состоит из следующих преобразований. Первое из них удаляет определения тех локальных переменных, которые имеют постоянные значения, заменяя вхождения этих переменные на их значения. Второе преобразование аналогично первому, но удаляет локальную переменную с заменой ее на соответствующее ей выражение, если она используется только один раз. Третье преобразование представляет собой удаление определений локальных переменных, которые не используются внутри их области действия. Наконец, в случае, если выражение let не содержит определений переменных или список выражений его результатов не зависит от его локальных переменных, это выражение может быть сокращено до своего списка выражений результатов.

5. Редукции функций и их вызовов. Тело некоторой (нерекурсивной) функции можно подставить на место её единственного вызова в виде выражения let. Если в результате анализа программы было обнаружено или в прагме было указано, что конкретные результаты

некоторой функции не используются после любого её вызова, функцию можно перестроить так, чтобы она не возвращала эти результаты, и удалить из неё выражения, их вычисляющие. Схожим образом можно поступить, если при всех вызовах функции определенный её аргумент равен одной и той же известной постоянной. В такой ситуации можно перестроить функцию, чтобы она не принимала этот аргумент, и подставить известное постоянное значение всюду в теле функции, где он использовался.

6. Редукции циклов. Раскрутка циклов, вообще говоря, не является редуцирующим преобразованием, поскольку может увеличить объём кода и поменять его структуру. Кроме того, в силу того, что в Cloud Sisal циклы, управляемые тестом, могут быть асинхронно параллельны, их раскрутка могла бы негативно повлиять на параллелизм. Тем не менее, в случае, когда количество итераций цикла равно 0 или 1, цикл можно редуцировать до его тела и/или выражений, вычисляющих редукции цикла. Кроме того, когда тело цикла пусто или не зависит от предыдущих итераций и счетчиков, цикл можно редуцировать до известных в этом случае выражений, вычисляющих его редукции.

Исследованы свойства данного набора с точки зрения влияния преобразований друг на друга (отношения повторности и тупиковости между преобразованиями) и наличия влияния порядка применения преобразований на получаемый результат (набор не обладает свойством Чёрча-Россера). Сформулирована и обоснована эффективная трехпросмотровая стратегия применения преобразований разработанного набора редукций.

4. Кроссплатформенный Cloud Sisal компилятор

В дополнение к уже существующему в системе CPPS оптимизирующему компилятору, использующему Windows и строящему C#-код, был разработан и реализован на языке Python кроссплатформенный компилятор для языка Cloud Sisal [8].

Компилятор транслирует Cloud Sisal программы в программы на языке C++, расширенном директивами OpenMP [9], и разделён на три части (парсер, блок редукций и кодогенератор), которые взаимодействуют между собой посредством передачи в виде JSON-текста единого для CPPS внутреннего графового представления обрабатываемой Cloud Sisal программы.

Парсер строит по исходной универсальной Cloud Sisal программе ее внутреннее графовое представление, которое может быть по выбору пользователя передано другой части компилятора (блоку редукции или генератору) как напрямую, так и опосредованно, после предварительной

обработки этого представления с помощью других компонент системы CPPS, например, визуального отладчика.

Блок редукции преобразует Cloud Sisal программу в рамках ее внутреннего представления и строит по универсальной Cloud Sisal программе ее специализированную версию с использованием разработанных набора редуцирующих конкретизаций и стратегии их применения.

Кодогенератор по полученному внутреннему представлению специализированной Cloud Sisal программы осуществляет методами смешанной кодогенерации построение ее оптимизированного C++–кода, расширенного директивами OpenMP. В частности, он реализует методы мемоизации для оптимизации генерируемых C++–функций [10]. В кодогенераторе используются абстракции для типов данных Cloud Sisal, необходимые для реализации ошибочных значений. Ошибочные значения выставляются прозрачно для основного кода программы и не нуждаются в дополнительном коде в выходной программе на языке C++.

Все три части кроссплатформенного компилятора включены в среду CPPS с поддержкой режима исполнения Cloud Sisal программ. В этом режиме получаемый компилятором C++-код обрабатывается при помощи свободно доступного оптимизирующего компилятора GCC. Функция main Cloud Sisal программы переименовывается в функцию sisal_main, а функция main C++-программы загружает входные данные и вызывает sisal_main, используя входные данные в качестве аргументов. Имена остальных функций в C++-программе соответствуют именам в исходной программе на языке Cloud Sisal. Получаемые исполняемые файлы принимают через stdin входные данные программы (аргументы функции main) в виде JSON-текста (используется библиотека JsonCpp [11]), что облегчает работу с компилятором в автоматическом режиме и его использование в составе других систем, например, сред разработки. Наличие нужных аргументов главной функции среди входных данных также проверяется программой. Результаты вычислений также выводятся в стандартный вывод в виде JSON.

Разработана система автоматического тестирования компилятора с набором тестовых Cloud Sisal программ и наборами входных данных и ожидаемых правильных результатов вычислений. Для каждой тестовой Cloud Sisal программ можно задать несколько наборов входных и ожидаемых выходных данных.

Предложенная архитектура компилятора позволила разрабатывать три его части независимо друг от друга, а также обеспечила простоту их использования в системе CPPS как по отдельности, так и вместе с другими компонентами системы. В частности, она обеспечила

возможность расширять компилятор на другие выходные языки путем дописывания новых кодогенераторов.

LLVM [12] – широко используемая инфраструктура для создания компиляторов и инструментов разработки программного обеспечения, включающая целый ряд компиляторов для многих языков высокого уровня, систем оптимизации, интерпретации и компиляции в машинный код. В основе LLVM лежит промежуточное представление кода (LLVM IR-код), над которым можно производить трансформации во время компиляции, компоновки и выполнения. Из этого представления генерируется оптимизированный машинный код для целого ряда платформ, как статически, так и динамически.

Начата работа по созданию нового кодогенератора, который строит LLVM IR-код по внутреннему представлению Cloud Sisal программ. Реализация кодогенератора осуществляется на языке Python с использованием библиотеки LLVM Lite [13].

Заключение

В докладе рассмотрен подход к решению задачи построения специализированных версий универсальных Cloud Sisal программ в системе облачного параллельного программирования CPPS с помощью редуцирующих конкретизаций. Описан созданный кроссплатформенный Cloud Sisal компилятор облачной системы, реализующий этот подход в процессе трансляции языка Cloud Sisal на язык C++. Ближайшие планы – расширить компилятор для интеграции системы CPPS с инфраструктурой LLVM. Это позволит с одной стороны использовать существующие инструменты и библиотеки инфраструктуры LLVM в рамках системы CPPS, а с другой – обеспечить поддержку языка Cloud Sisal инфраструктурой LLVM.

Авторы благодарны всем коллегам, которые принимали участие в работах, рассмотренных в докладе.

Список литературы

1. Система облачного параллельного программирования CPPS: визуализация и верификация Cloud Sisal программ / В. Н. Касьянов [и др.]; под ред. В. Н. Касьянова. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. – 256 с.

2. The Sisal project: real world functional programming / J.-L. Gaudiot [et al.] // Lecture Notices in Computer Science. – 2013. – Vol. 1808. – pp. 84-72.

3. Kasyanov, V. N. Sisal 3.2: functional language for scientific parallel programming / V. N. Kasyanov // Enterprise Information Systems. – 2013. – Vol. 7, № 2. – pp. 227-236.

4. Касьянов, В. Н. Оптимизирующие преобразования программ / В. Н. Касьянов. – М: Наука, 1988. – 336 с.

5. Ершов, А. П. Организация смешанных вычислений для рекурсивных программ / А. П. Ершов // Доклады. АН СССР. – 1979.– Т. 245.– № 5. – С. 1041-1044.

6. Касьянов, В. Н. Методы и средства визуализации информации на основе атрибутированных иерархических графов с портами / В. Н. Касьянов // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2023.– Т. 24.– № 1. – С. 8-17.

7. Титова, В. В. Редуцирующие конкретизации в кросс-платформенном компиляторе Cloud Sisal системы облачного параллельного программирования CPPS / В. В. Титова // Математика: Материалы 62-й Междунар. науч. студ. конф. 17–23 апреля 2024 г. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2024. – С. 256.

8. Касьянов, В. Н. Кроссплатформенный Cloud Sisal компилятор облачной системы параллельного программирования CPPS / В. Н. Касьянов, Е. В. Касьянова, А. А. Малышев // Марчуковские научные чтения 2024: Тезисы Междунар. конф., 7–11 октября 2024 г. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2024. – С. 135.

9. JSON [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.file-extension.info/format/json

10. Саубанов, Д. А. Автоматическая оптимизация мемоизации в компиляторе языка Cloud Sisal при трансляции в исходный код C++ / Д. А. Саубанов // Математика: Материалы 62-й Междунар. науч. студ. конф. 17–23 апреля 2024 г. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2024. – С. 255.

11. JsonCpp [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sourceforge.net/projects/jsoncpp.mirror/

12. LLVM Lite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/numba/llvmlite

13. OpenMP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.openmp.org

Алгоритм вычисления массива граней с нечетким сопоставлением префикса и суффикса

С. Д. Махортов, email: msdexp@yandex.ru
Р. Б. Анохин, email: an.roman.b@gmail.com

ФГБОУ ВО «ВГУ»

Аннотация. *В данной работе исследуется задача адаптации алгоритма вычисления массива граней для работы с нечеткими сопоставлениями префикса и суффикса строк. Традиционные алгоритмы обработки строк, такие как классический алгоритм массива граней, обладают высокой эффективностью, но требуют точного совпадения символов. Однако в ряде практических приложений, особенно в биоинформатике, данные могут содержать ошибки, что делает классические методы непригодными. Предложен новый алгоритм, позволяющий учитывать нечеткость сопоставления префиксов и суффиксов, и проведено его тестирование. Показано, что разработанный алгоритм имеет временную сложность $O(n^2)$ и линейные затраты памяти, что делает его пригодным для использования в условиях ограниченных ресурсов. Исследование включает рассмотрение возможных путей адаптации стандартных алгоритмов к условиям нечеткого сопоставления, анализ возникающих трудностей и оценку вычислительной сложности предложенного метода. Результаты работы могут быть полезны для развития методов обработки строк допускаемыми с ошибками и применяться в различных областях, включая биоинформатику и обработку текста.*

Ключевые слова: *алгоритмы на строках, нечеткие грани, массив нечетких граней*

Введение

Алгоритмы обработки строк занимают важное место в современной информатике благодаря широкому спектру применений, начиная от текстовых редакторов и заканчивая системами управления базами данных и поисковыми машинами. Особое значение они приобретают в биоинформатике, где необходимо обрабатывать гигантские последовательности нуклеиновых кислот, такие как ДНК и РНК, состоящие из множества символов [1]. Одной из базовых задач при анализе таких последовательностей является вычисление массивов граней: для каждой подстроки выявляется наибольший префикс,

© Махортов С. Д., Анохин Р. Б., 2025

совпадающий с ее суффиксом. Это важно для выполнения последующих исследований структуры и свойств строк. Классический алгоритм вычисления массива граней, обладающий линейной временной сложностью, лежит в основе ряда других эффективных методов, таких как алгоритм Кнута-Морриса-Пратта или Бойера—Мура для поиска образца в строке за линейное время [2].

В то же время, реальные данные, например, в биоинформатике, зачастую содержат ошибки. Такие данные, в частности, выдает секвенатор – аппарат, с помощью которого выполняется автоматизированное определение последовательности нуклеотидов в цепи ДНК [1]. Указанное обстоятельство делает стандартные методы точного сравнения строк недостаточно актуальными. В таких ситуациях требуются алгоритмы, способные учитывать неточность сопоставления строк с заданной погрешностью. Одним из перспективных подходов может служить адаптация алгоритма поиска граней для работы с нечеткими сопоставлениями.

Целью настоящей работы является исследование возможностей создания алгоритма вычисления массива граней для нечетких сопоставлений строк и оценка его эффективности.

1. Постановка задачи

В рамках данной работы исследуется задача построения алгоритмов вычисления массива граней строки с применением нечеткого сопоставления префикса и суффикса. В отличие от классических методов, где требуются точные совпадения, рассматривается возможность отклонений, задаваемых параметром допустимого числа ошибок M. Это обобщение является актуальным в областях, где данные подвержены ошибкам, например, в биоинформатике.

2. Список определений

В начале напомним некоторые понятия и обозначения, связанные со строками [3].

Алфавит – некоторое фиксированное множество различимых элементов (символов).

Строка – это конечная последовательность символов, каждый из которых принадлежит некоторому алфавиту. Через $N = |S|$ обозначается длина (число символов) строки S. В данной работе нумерация символов в строке будет производиться с 0.

Префикс строки – набор символов, идущих от начала строки до какого-то символа i. $i \neq N$, где N это длина строки.

Суффикс строки – набор символов, идущих от символа i, i ≠ N и до конца строки.

Гранью строки называется любой собственный (не совпадающий со всей строкой) префикс этой строки, равный ее же суффиксу.

Массив граней – массив bp[0..n – 1], который содержит длины наибольших граней для всех подстрок S[0...i], i = 0, 1, ..., n – 1, т. е. для префиксов в S.

Сформулируем (новое) понятие нечеткой грани. *Нечеткая грань* – такая грань, где префикс может отличаться от суффикса не более чем на M замен символов. Здесь M будет называться расстоянием между префиксом и суффиксом, N > M ≥ 0.

Массив нечетких граней – это характеристика строки, представленная в виде массива длины n, равной длине строки. Каждый элемент массива a[i] содержит длину наибольшей нечеткой грани подстроки строки от нулевого символа до индекса i (включительно), при этом расстояние нечеткой грани m ≤ M, где M – заданный порог. В данной работе при сопоставлении строк не рассматриваются вставки и удаления.

3. Алгоритм построения массива граней

Алгоритм вычисления массива граней (префикс-функции) используется для нахождения длины наибольшего собственного префикса, который одновременно в точности является суффиксом, для каждого префикса исходной строки [3]. Это итеративный алгоритм, который строит массив значений префикс-функции, последовательно для каждой позиции.

Начинается работа с инициализации нулевого значения для первой позиции, затем с использованием ранее вычисленных значений шаг за шагом определяется, нужно ли продлевать текущий префикс или откатиться к более короткому. Алгоритм эффективен благодаря тому, что избегает повторного сравнения уже проверенных символов, и работает за линейное время относительно длины строки [4].

В листинге 1 приводится формальная запись алгоритма на языке Go (аналогично – все алгоритмы в настоящей работе). Опираясь на него, будем далее разрабатывать алгоритм для нечетких сопоставлений.

Листинг 1

Алгоритм вычисления массива граней

```
func ba(s string) []int {
  ba := make([]int, len(s))
  for i := 1; i < len(s); i++ {
    j := ba[i-1]
    for j > 0 && s[i] != s[j] {
```

Окончание листинга 1

```
        j = ba[j-1]
      }
      if s[i] == s[j] {
        ba[i] = j + 1
      }
    }

    return ba
  }
```

4. Наивный алгоритм вычисления нечетких граней

Для начала следует отметить возможность реализации наивного алгоритма, представляющего собой отправную точку для дальнейшего улучшения. Наивный алгоритм основывается на использовании трех вложенных циклов, что обуславливает его временную сложность $O(n^3)$. Этот способ предполагает построчное сравнение всех возможных вариантов префиксов и суффиксов строки, а также их проверку на соответствие допустимому числу ошибок M. Выполнение данных операций производится для каждого префикса строки с целью построения массива нечетких граней (fuzzy boundary array, FBA).

Схема работы алгоритма представляет собой внешний цикл, который выполняет итерацию по каждому символу строки, где i представляет собой индекс текущего символа, для которого определяется наибольшая нечеткая грань. Внутренний цикл, реализуемый переменной p, итерируется в пределах от 1 до i и представляет потенциальную длину искомой грани.

Для каждой предполагаемой длины p осуществляется последовательный проход по всем символам префикса и суффикса длины p, начиная с позиции k. Сравнение элементов выполняется по условию s[k] != s[i−p+k+1]. При несоответствии символов значение счетчика ошибок увеличивается. По завершении прохода полученное значение счетчика сравнивается с пороговым значением ошибок m. Если количество ошибок оказывается меньше M, текущая длина p записывается в результирующий массив нечетких граней (FBA).

Так как p всегда растет в пределах длины рассматриваемого участка строки, последняя запись в массиве FBA будет соответствовать максимальной длине грани для данной позиции i. Этот процесс гарантирует, что результатом работы алгоритма станет массив, содержащий наиболее длинные допустимые грани для каждой позиции строки, учитывающие заданное число ошибок m.

Листинг 2 содержит код для реализации данного алгоритма.

Листинг 2

Наивный алгоритм вычисления нечетких граней

```
func fbaPrimitive(s string, M int) []int {
	fba := make([]int, len(s))
	for i := 1; i < len(s); i++ {
		for p := 1; p <= i; p++ {
			errors := 0
			for k := 0; k < p; k++ {
				if s[k] != s[i-p+k+1] {
					errors++
				}
			}
			if errors <= M {
				fba[i] = p
			}
		}
	}
	return fba
}
```

Входные данные:

- s: строка, для которой вычисляется массив нечетких граней.
- M: максимально допустимое количество ошибок (различий между символами).

Выходные данные: массив fba, где каждый элемент fba[i] содержит максимальную длину подстроки, которая заканчивается на индексе i строки s и совпадает с ее префиксом с допущением до M ошибок.

Этот алгоритм вычисляет массив нечетких граней, что позволяет учитывать возможность несовпадения символов строки с допуском на число ошибок m. Данный массив может использоваться в нечетком поиске или в других задачах анализа строк с вариативностью данных.

Алгоритм имеет кубическую временную сложность $O(n^3)$ из-за трех вложенных циклов, а также линейную сложность по памяти O(n) в силу необходимости хранить массив граней.

5. Улучшенный наивный алгоритм

Наивный алгоритм можно улучшить, если учитывать следующее обстоятельство. Вместо итерации по длине грани p от минимального значения к максимальному, можно начинать с наибольшей возможной длины и уменьшать ее. Это позволит сократить количество итераций и выйти из цикла, как только будет найдено удовлетворительное значение, при котором число ошибок не превышает заданное пороговое значение m.

Пример реализации улучшенного алгоритма рассмотрен в листинге 3.

Листинг 3

Улучшенный наивный алгоритм

```
func fbaPrimitiveMod(s string, M int) []int {
	fba := make([]int, len(s))
	for i := 1; i < len(s); i++ {
		for p := i; p >= 1; p-- {
			errors := 0
			for k := 0; k < p; k++ {
				if s[k] != s[i-p+k+1] {
					errors++
				}
				if errors > M {
					break
				}
			}
			if errors <= M {
				fba[i] = p
				break
			}
		}
	}
	return fba
}
```

Входные данные:

– s: строка, для которой вычисляется массив нечетких граней.
– M: максимально допустимое количество ошибок (различий между символами).

Выходные данные: массив fba, где каждый элемент fba[i] содержит максимальную длину подстроки, которая заканчивается на индексе i строки s и совпадает с ее префиксом с допущением до M ошибок.

Принцип работы остается таким же, как и в предыдущем варианте только потенциальная длина грани уменьшается от максимального значения, что позволяет остановить алгоритм, как только будет найдено удовлетворительное значение. Также и во внутреннем цикле изменяется проверка, которая теперь прерывает его при накоплении ошибок больше M.

В табл. 1 можно увидеть пример работы алгоритма для строки «abacabad» и одной допустимой ошибкой.

Таблица 1

Пример работы алгоритма

i	p	Префикс	Суффикс	Ошибки	fba[i]
1	1	a	b	1	0
2	2	ab	ba	2	

Окончание табл. 1

2	1	a	a	0	1
3	3	aba	bac	3	
3	2	ab	ac	1	2
4	4	abac	baca	4	
4	3	aba	aca	1	3
5	5	abaca	bacab	5	
5	4	abac	acab	2	
5	3	aba	cab	3	
5	2	ab	ab	0	2
6	6	abacab	bacaba	6	
6	5	abaca	acaba	2	
6	4	abac	caba	4	
6	3	aba	aba	0	3
7	7	abacaba	bacabad	7	
7	6	abacab	acabad	3	
7	5	abaca	cabad	5	
7	4	abac	abad	1	4

6. Улучшенный алгоритм с квадратичной сложностью

Для более эффективного вычисления массива нечетких граней возникает необходимость оптимизировать наивный способ, уменьшив количество избыточных операций и тем самым повысив производительность алгоритма. Предлагаемый ниже оптимизированный метод использует предварительное вычисление ошибок между всеми возможными префиксами и суффиксами строки. Это позволяет значительно сократить вычислительные затраты за счет упрощения проверки условий совпадения символов с учетом допустимого количества ошибок.

Основная идея заключается в применении подхода с динамическим программированием [5]. Строится вспомогательная структура данных – матрица ошибок, которая систематизирует информацию о несовпадениях символов для всех пар префикс-суффикс.

Каждая ячейка [i][j] матрицы содержит количество ошибок (несовпадений символов) между префиксом длины j – i и суффиксом, начинающимся с индекса i. Матрица заполняется по строкам: для строки со сдвигом i вычисляются ошибки для всех возможных подстрок с этим сдвигом. Эти вычисления охватывают подстроки разной длины, начиная от одного символа и до конца строки. После заполнения матрицы ошибок для каждого индекса j строки s выполняется поиск первой строки в соответствующем столбце, где количество ошибок не

превышает заданное значение m. Как только такая строка найдена, в fba[j] (результат вычислений) записывается длина максимального префикса, которая вычисляется как разность индексов текущего столбца j и строки матрицы.

Для экономии памяти матрица может не сохраняться полностью. Вместо этого заполняется массив fba по мере обработки данных. Алгоритм имеет временную сложность $O(n^2)$, так как каждый символ строки участвует в обработке всех других символов через вложенные циклы. Пространственная сложность составляет $O(n^2)$, если сохранять целиком матрицу ошибок, но ее можно сократить до $O(n)$, если отказаться от хранения матрицы и вычислять ошибки «на лету».

Ниже представлен листинг 4, реализующий описанный алгоритм.

Листинг 4

Улучшенный алгоритм с квадратичной сложностью

```
func fbadp(s string, M int) []int {
	fba := make([]int, len(s))
	for i := 0; i < len(s); i++ {
		errors := 0
		for j := i + 1; j < len(s); j++ {
			if s[j-i-1] != s[j] {
				errors++
			}
			if fba[j] == 0 && errors <= M {
				fba[j] = j - i
			}
		}
		if errors <= M {
			break
		}
	}

	return fba
}
```

Входные данные:

- s: строка, для которой вычисляется массив нечетких граней.
- m: максимально допустимое количество ошибок (различий между символами).

Выходные данные: массив fba, где каждый элемент fba[i] содержит максимальную длину подстроки, которая заканчивается на индексе i строки s и совпадает с ее префиксом с допущением до M ошибок.

Рассмотрим в качестве примера несколько итераций алгоритма для строки «ababcd» и одной ошибки (M = 1).

Допустим, что счетчик внешнего цикла i находится на первой итерации и равен 0. Тогда последующую работу вложенного цикла

можно отразить в табл. 2. Отметим, что i в данном алгоритме показывает, на сколько префикс будет сдвинут относительно суффикса. В e для наглядности «наращиваются» префикс и суффикс, однако сравнение производится только для последних символов в указанных структурах строки.

Таблица 2

Итерация 1

j	префикс	суффикс	errors	fba[j]
1	«a» индекс 0	«b» индекс 1	1	1
2	«ab» индекс 1	«ba» индекс 2	2	

После второй итерации внутреннего цикла мы выходим из него. Причина в достижении максимума ошибок для сопоставления префикса и суффикса и далее ошибки могут только накапливаться, и такие варианты не будут подходить из-за ограничения по числу ошибок.

Вторая итерация внешнего цикла, где i=1 представлена в табл. 3.

Таблица 3

Итерация 2

j	префикс	суффикс	errors	fba[j]
2	«a» индекс 0	«a» индекс 2	0	1
3	«ab» индекс 1	«ab» индекс 3	0	2
4	«aba» индекс 2	«abc» индекс 4	1	3
5	«abab» индекс 3	«abcd» индекс 5	2	

Третья итерация, i=2 в табл. 4.

Таблица 4

Итерация 3

j	префикс	суффикс	errors	fba[j]
3	«a» индекс 0	«b» индекс 3	1	-
4	«ab» индекс 1	«bc» индекс 4	2	

Четвертая итерация, i=3 в табл. 5.

Таблица 5

Итерация 4

j	префикс	суффикс	errors	fba[j]
4	«a» индекс 0	«c» индекс 4	1	-
5	«ab» индекс 1	«cd» индекс 5	2	

Пятая итерация, i=4 в табл. 6.

Таблица 6

Итерация 5

j	префикс	суффикс	errors	fba[j]
5	«a» индекс 0	«d» индекс 5	1	1

Итоговый результат примера «ababcd» с допуском одной ошибки выглядит как «011231».

7. Тестирование алгоритма на основе экспериментальных данных

Для статистической проверки корректности работы предложенных алгоритмов применяется несколько способов. Одним из наиболее распространенных является использование заранее определенных тест-кейсов, позволяющих оценить соответствие реальных результатов ожидаемым. Этот способ обеспечивает надежную верификацию алгоритма и выявление возможных ошибок в его реализации.

Пример кода реализующий функцию тестирования находится в листинге 5.

Листинг 5

Тест на основе экспериментальных данных

```
func Test(t *testing.T) {
	type args struct {
		s string
		M int
	}
	tests := []struct {
		name string
		args args
		want []int
	}{
		{
			name: "10",
			args: args{
				s: "ab",
				M: 1,
			},
			want: []int{0, 1},
		},
		{
			name: "20",
			args: args{
				s: "aba",
				M: 1,
			},
			want: []int{0, 1, 1},
		},
		{
			name: "30",
```

Окончание листинга 5

```
                        args: args{
                                s: "abaa",
                                M: 1,
                        },
                        want: []int{0, 1, 1, 2},
                },
                {
                        name: "30",
                        args: args{
                                s: "abaaab",
                                M: 1,
                        },
                        want: []int{0, 1, 1, 2, 3, 2},
                },
                {
                        name: "40",
                        args: args{
                                s: "abaaaba",
                                M: 1,
                        },
                        want: []int{0, 1, 1, 2, 3, 2, 3},
                },
                {
                        name: "50",
                        args: args{
                                s: "abaaababc",
                                M: 1,
                        },
                        want: []int{0, 1, 1, 2, 3, 2, 3, 4, 3},
                },
        }
        for _, tt := range tests {
                t.Run(tt.name, func(t *testing.T) {
                        if got := fbaPrimitiveMod(tt.args.s,
tt.args.M); !reflect.DeepEqual(got, tt.want) {
                                t.Errorf("fbaPrimitive() = %v,
want %v", got, tt.want)
                        }
                })
        }
}
```

Каждый тест-кейс включает:

- name: название тест-кейса, описывающее его суть;
- аргумент s: строку, для которой вычисляется массив нечетких граней;
- аргумент M: допустимое количество ошибок;
- want: ожидаемый результат теста в виде массива чисел.

Выходные данные:

– отсутствие вывода в случае успешного выполнения всех тест-кейсов;
– Сообщение об ошибке в формате "fbaPrimitive() = %v, want %v" для каждого теста, который не прошел проверку.

Принцип работы описывается следующими шагами.

1. Формируется структура данных, содержащая массив тест-кейсов. Каждый элемент массива включает входные данные и ожидаемый результат.
2. Для каждого тест-кейса выполняется исследуемый алгоритм.
3. Результат работы алгоритма сравнивается с ожидаемым результатом.
4. В случае совпадения никаких сообщений не выводится, подтверждая успешное прохождение теста. Если результаты не совпадают, формируется текст ошибки, содержащий реальное значение и ожидаемый результат.

Описанный метод позволяет автоматизировать процесс тестирования, минимизировать вероятность человеческой ошибки и гарантировать стабильность алгоритма при обработке различных входных данных.

8. Тестирование алгоритма в сравнении с наивным алгоритмом

Для проверки корректности оптимизированного алгоритма используется наивный алгоритм в качестве эталона (см. листинг 6). В процессе тестирования происходит перебор всех возможных вариантов входных данных. Внешний цикл отвечает за итерацию по различным значениям допустимого количества ошибок m, что позволяет проверить алгоритмы на разных уровнях допуска несовпадений. Во внутреннем цикле для каждой фиксированной длины строки генерируются все возможные комбинации строк, составленные из заданного алфавита. Каждая сгенерированная строка передается на вход как наивному алгоритму, так и оптимизированной версии. Результаты их работы сравниваются. В случае полного совпадения вывод отсутствует, что указывает на корректность обоих алгоритмов. Если результаты различаются, формируется сообщение об ошибке, которое включает проблемную строку, ожидаемый результат, полученный с помощью наивного алгоритма, и фактический результат оптимизированного алгоритма. Такой подход позволяет систематически выявлять любые отклонения в работе оптимизированного алгоритма.

Листинг 6

Функция тестирования путем сравнения результата выполнения с наивным алгоритмом

```
func Test_fbadp_withNaiveCompare(t *testing.T) {
	alphabet := "abcdefg"
	length := 10
	totalCombinations := 1 << (2 * length) // 4^length (2
бита на символ)
	mLimit := 3

	t.Run("full compare with naive", func(t *testing.T) {

		for M := 0; M < mLimit; M++ {
			for i := 0; i < totalCombinations; i++ {
				s := make([]byte, length)
				num := i
				for j := length - 1; j >= 0; j--
{
					s[j] = alphabet[num%4]
					num /= 4
				}
				if got := fbadp(string(s), M);
!reflect.DeepEqual(got, fbaPrimitive(string(s), M)) {
					t.Errorf("fbaCache() = %v,
want %v", got, fbaPrimitive(string(s), M))
				}
			}
		}
	})
}
```

9. Задача модификации стандартного алгоритма массива граней для нечеткого сопоставления

Рассмотрим возможность модификации стандартного алгоритма вычисления массива граней, добавив в него поддержку нечеткого сопоставления. Однако, при анализе данной задачи выявляются определенные сложности.

В стандартном алгоритме вычисления массива граней (см. листинг 1 в разделе 3) при несовпадении символов s[j] и s[i] текущий префикс оказывается неподходящим, и алгоритм переходит к предыдущему(меньшему) префиксу, который в свою очередь должен совпадать с текущей подстрокой на определенное количество символов. Этот процесс продолжается, пока имеются доступные предыдущие префиксы.

Теперь, добавляя возможность допуска ошибок, можно предложить следующий способ: при обнаружении ошибки, если их количество меньше M, алгоритм мог бы игнорировать текущее несовпадение (не

заходить во вложенный цикл), увеличивать счетчик ошибок и продолжать обработку текущего префикса. Когда число ошибок превысит M, алгоритм возвращался бы к предыдущему префиксу, уменьшая счетчик ошибок на единицу, если удается найти префикс, в котором следующий символ совпадает с текущим.

Однако возникают ситуации, где при получении ошибки оказывается выгоднее не допускать ее, а начать обработку строки заново.

Рассмотрим пример, где допускаемые ошибки приводят к длительной или некорректной последовательности сопоставлений.

Возьмем для рассмотрения строку «abca» и число допустимых ошибок равное двум (M = 2) (см. рис. 1).

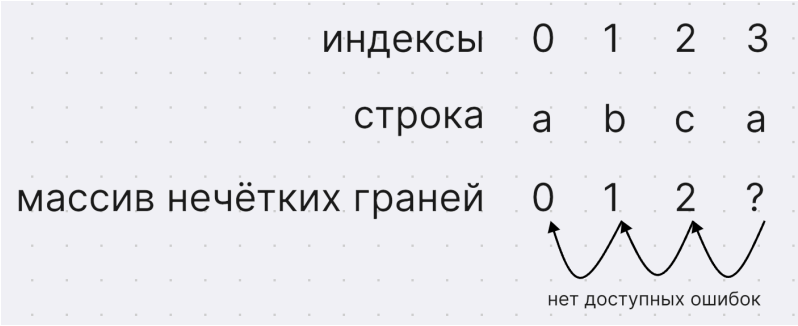


Рис. 1. Пример возможной работы со строкой «abca» при M=2

В данном рассмотрении алгоритм начнет выполнение с индекса 1 (символ «b»). Он не равен символу «a», поэтому необходимо допустить ошибку в этом символе и увеличить значение j (указателя на префикс, по которому происходит сравнение) на единицу.

Далее идет рассмотрение следующего символа в строке. Символ «c» также не равен символу «b», на который теперь будет указывать j. Поэтому алгоритм снова допустит ошибку и увеличит j на единицу и сохранит в массив граней.

При переходе к последнему символу в строке («a») значение в предыдущем элементе строки, которое используется в качестве указателя, ссылается на символ «c». Символ «a» не равен «c». Допустимых ошибок больше нет, поэтому начинается поиск предыдущего префикса, который был бы уже равен тому суффиксу, который рассматривается алгоритмом. Если следовать стандартному алгоритму массива граней, то он придет к нулевому элементу, счетчик ошибок сбросится и значение массива граней с индексом 3 будет 1.

Для того чтобы избежать такой ситуации при выполнении алгоритма на индексе 2 (символе «c») необходимо было рассматривать не только вариант с допущением ошибки и инкрементации предыдущего значения массива граней, а также вариант, где суффикс «c» был бы равен префиксу «a» с допущением одной ошибки. Тогда значение массива граней по данному индексу (2) было бы не оптимальным и равнялось бы 1, но при рассмотрении следующего символа удалось бы получить верное значение 2 (см. рис. 2).



Рис. 2. Альтернативный пример возможной работы со строкой «abca» при M=2

Так как заранее невозможно определить, в каких случаях следует допускать ошибку, а в каких – нет, при каждой ошибке необходимо рассматривать оба варианта:

- допущение ошибки (увеличение счетчика ошибок и продолжение обработки);
- отказ от допущения ошибки (возврат к предыдущей грани с пересчетом сопоставлений).

Исследуя каждый вариант, необходимо выбирать максимальный для постановки в качестве значения для массива граней на текущем индексе.

Каждое из этих решений, в свою очередь, порождает дополнительные ветви алгоритма. Таким образом, на каждую ошибку создается экспоненциальное количество вариантов поведения. В худшем случае, если все символы строки уникальны, количество вычислений растет экспоненциально из-за порождения двух вариантов для каждого значения допустимых ошибок m, что приводит к временной сложности $O(n^m)$.

Описанный способ, несмотря на корректность результата, оказывается крайне неэффективным для строк большой длины или при увеличении допустимого количества ошибок, что делает его применение весьма ограниченным для практических задач.

Заключение

В результате проведенного исследования был получен алгоритм вычисления массива граней с допущением нечеткости сопоставления префиксов и суффиксов. Разработанный метод обладает временной сложностью $O(n^2)$, что представляет собой приемлемый компромисс между точностью и скоростью работы, и использует линейный объем памяти. Кроме того, был реализован наивный алгоритм, служивший для проверки корректности и тестирования оптимизированного решения. В ходе исследования рассматривались различные пути адаптации классического алгоритма к условиям нечеткого сопоставления, изучены возникшие трудности и проведена оценка вычислительной сложности предложенной методики.

Таким образом, данное исследование вносит вклад в создание методов обработки строк с учетом ошибок, что в частности открывает перспективы дальнейшего совершенствования инструментов анализа биологических последовательностей. Полученные результаты могут найти применение в широком круге приложений, связанных с обработкой текстов и биологической информации, позволяя более эффективно решать задачи, требующие гибкости в сопоставлении строк.

Список литературы

1. Single-molecule, quantitative detection of low-abundance somatic mutations by high-throughput sequencing / A.Y. Maslov [et al.] // Science Advances. – 2022. – Vol. 8. – Iss. 14. – P. 1-6. – DOI: 10.1126/sciadv.abm3259.

2. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен [и др.]; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2016. – 1328 с.

3. Махортов, С.Д. О выразительных возможностях схем описания структуры строк / С.Д. Махортов // Программная инженерия. – 2018. – № 5. – С. 235–240.

4. Code Review. Prefix- and z-functions in C++ (string algorithms) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://codereview.stackexchange.com/questions/87349/prefix-and-z-functions-in-c-string-algorithms

5. Ахо, А. В. Структуры данных и алгоритмы / А. В. Ахо, Дж. Э. Хопкрофт, Дж. Д. Ульман ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2018. – 400 с.

Разработка серверной части веб-приложения «Кулинарные рецепты» на платформе ASP.NET

А. К. Орлова, e-mail: anna2003orlova@gmail.com,
М. В. Матвеева, e-mail: marie.matveeva@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В современном мире кулинарные рецепты являются популярным видом контента в Интернете, и создание удобного и функционального веб-приложения для хранения и обмена рецептами может быть востребовано среди широкой аудитории. В данной работе рассматривается проектирование серверной части веб-приложения «Кулинарные рецепты», анализ существующих решений и разработка back-end части приложения с помощью языка C# на платформе ASP.NET*

Ключевые слова: *разработка, программирование, backend-разработка, серверная часть приложения, веб-приложение, C#, .NET, ASP.NET, проектирование веб-приложения, кулинария, рецепты.*

Введение

Кулинарные рецепты всегда были неотъемлемой частью повседневной жизни, и с развитием интернета платформы для их обмена становятся всё более популярными. Веб-приложения, позволяющие находить новые рецепты, становятся незаменимыми помощниками для любителей кулинарии.

Данная статья посвящена проектированию и разработке серверной части веб-приложения «Кулинарные рецепты», позволяющего пользователям публиковать свои рецепты, комментировать чужие и подписываться на любимых авторов. Приложение включает в себя функциональность для поиска рецептов по фильтрам и предоставляет возможность создания персонализированных кулинарных книг.

В рамках работы будет проведено проектирование базы данных веб-приложения, а также анализ существующих решений в области кулинарных платформ. Рассмотрение популярных кулинарных сайтов и приложений позволит выявить их сильные и слабые стороны, что поможет в дальнейшем проектировании функциональности и интерфейса разрабатываемого приложения, а также обеспечит его конкурентоспособность и соответствие современным требованиям пользователей.

© Орлова А. К., Матвеева М. В., 2025

1. Обзор существующих решений

При разработке приложения рассматривались популярные кулинарные платформы, такие как Cookpad.com [1], Food.ru [2] и Povarenok.ru [3]. Эти сайты предоставляют пользователям разнообразные возможности: от публикации и поиска рецептов до комментирования и создания персональных подборок. Сравнение данных платформ приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение популярных кулинарных платформ

Название	**cookpad.com**	**food.ru**	**povarenok.ru**
API	+	+	+
Личный кабинет	+	+	+
Публикация рецептов	+	+	+
Комментирование публикаций	+	–	+
Подписка на пользователя	–	–	+
Подписка на новые комментарии по рецепту	–	–	–
Удобство интерфейса	+	+	–
Качество контента	–	+	–
Разнообразие рецептов	+	+	+

В ходе анализа были выделены ключевые функциональные особенности, такие как наличие API, личных кабинетов, системы подписок и взаимодействия с контентом. Однако у рассматриваемых решений отсутствуют важные функции, такие как подписка на пользователей и уведомления о новых комментариях к рецептам. Эти недостатки представляют собой области для улучшения, которые будут учтены при разработке веб-приложения «Кулинарные рецепты», чтобы обеспечить его конкурентоспособность и повысить удобство использования для пользователей.

2. Функциональность приложения

В результате анализа существующих решений была выделена необходимая функциональность для реализации приложения:

- авторизация пользователя, администратора;
- поиск рецептов по заданным фильтрам;
- публикация, изменение, удаление, а также просмотр информации о рецепте;
- почтовые рассылки о новых рецептах и комментариях;
- на уровне администратора: доступ ко всем таблицам базы данных; возможность удаления рецептов, аккаунтов пользователей, комментариев; возможность редактирования таблиц.
- на уровне авторизованного пользователя: возможность публиковать рецепты; возможность публиковать комментарии к рецептам; возможность подписаться на пользователя; возможность подписаться на новые комментарии по рецепту; просмотр базы рецептов с возможностью сортировки по заданным фильтрам.

3. Логическая модель данных

Для эффективного хранения и управления данными с помощью ERwin Data Modeler [4] была спроектирована логическая модель базы данных веб-приложения «Кулинарные рецепты». ER-диаграмма уровня сущностей представлена на рисунке, назначение и столбцы каждой таблицы описаны в табл. 2.

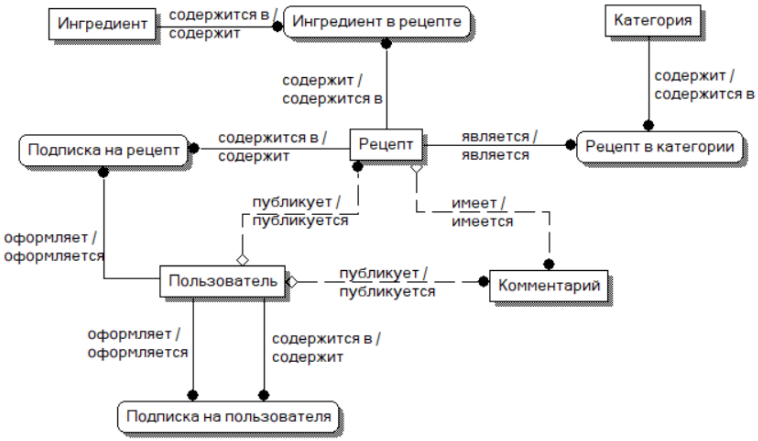


Рисунок. ER-диаграмма уровня сущностей

Таблица 2

Описание таблиц базы данных

Таблица	**Столбцы**	**Предназначение таблицы**
Пользователи	ID (PK), логин, хэш пароля, никнейм	Таблица содержит информацию о пользователях.
Подписки на пользователя	ID_автора (PK, FK), ID_подписчика (PK, FK)	Таблица содержит информацию о подписках на новые рецепты пользователей
Подписки на рецепты	ID_рецепта (PK, FK), ID_подписчика (PK, FK)	Таблица содержит информацию о подписках на новые комментарии по рецепту
Комментарии	ID (PK), ID_пользователя (FK), ID_рецепта (FK), комментарий, дата отправки	Таблица содержит информацию о комментариях
Рецепты	ID (PK), ID_пользователя (FK), название, время подготовки, время приготовления, описание, инструкции, калории, белки, жиры, углеводы	Таблица содержит информацию о рецептах
Ингредиенты в рецепте	ID_рецепта (PK, FK), ID_ингредиента (PK, FK), количество, единица измерения	Таблица содержит информацию о ингредиентах, входящих в рецепт
Ингредиенты	ID (PK), название, калории, белки, жиры, углеводы	Таблица содержит информацию о ингредиентах
Категории	ID (PK), название, ID_родительской_ категории (FK)	Таблица содержит информацию о категориях
Рецепты в категориях	ID_рецепта(PK, FK), ID_категории (PK, FK)	Таблица содержит информацию о рецептах, входящих в категории

4. Архитектура серверной части веб-приложения

Для реализации серверной части веб-приложения была выбрана монолитная архитектура с элементами микросервисной. Основная часть приложения реализована монолитно, с выделением двух микросервисов для специфических задач: генерация JWT-токенов и асинхронная рассылка сообщений с помощью RabbitMQ.

Монолит приложения разделен на три слоя: представления, бизнес-логики и доступа к данным, что соответствует принципам чистой архитектуры [5]. Слой представления отвечает за интерфейс приложения и взаимодействие с пользователем, слой бизнес-логики определяет основную логику приложения, а слой доступа к данным обеспечивает работу с базой данных и хранение информации. Такое разделение позволяет повысить читаемость и поддерживаемость кода, облегчает тестирование и улучшает гибкость приложения, что важно для его долгосрочной эффективной работы.

Вся серверная часть приложения реализована на ASP.NET [6]. Этот фреймворк предоставляет способ построения Web API приложения в стиле REST и взаимодействует с клиентской частью приложения с помощью HTTP-запросов. Кроме того, ASP.NET обеспечивает высокую производительность, поддерживает асинхронность и внедрение зависимостей (Dependency Injection).

5. Слой доступа к данным

Для доступа к данным в приложении используется Entity Framework Core [7], который позволяет взаимодействовать с базой данных с помощью контекста – ключевого компонента взаимодействия с базой данных.

Контекст предоставляет доступ к базе данных и управляет состоянием объектов в приложении, отслеживает изменения, вносимые в объекты приложения, и автоматически применяет их к базе данных. Кроме того, контекст позволяет выполнять запросы к базе данных и возвращать результаты в виде объектов приложения.

В контексте определены DbSet для каждой сущности приложения, такие как Recipes, Ingredients, Categories и т.д., представляющие собой таблицы в базе данных. Определение связей между сущностями происходит с помощью ModelBuilder для конфигурации соответствующих таблиц и их свойств в базе данных.

6. Слой бизнес-логики

В приложении слой бизнес-логики представлен классами-сервисами, внутри которых происходит управление операциями, связанными соответствующими сущностями. Например, RecipeService –

сервис для работы с рецептами, наследующий интерфейс IRecipeService. Функциональность этого интерфейса приведена в листинге 1.

Листинг 1

Функциональность интерфейса IRecipeService

```
public interface IRecipeService
{
    Task<IEnumerable<RecipeModel>> GetAllShortRecipes();
    Task<RecipeModel> GetRecipeById(Guid id);
    Task<IEnumerable<IngredientInRecipeModel>>
GetIngredientsOfRecipe(Guid recipeId);
    Task<RecipeModel> Create(CreateRecipeModel model, string
userId);
    Task<IngredientInRecipeModel> AddIngredientInRecipe(Guid
recipeId, Guid ingredientId);
    Task<CategoryInRecipeModel> AddCategoryToRecipe(Guid
recipeId, Guid categoryId);
    Task Update(Guid id, UpdateRecipeModel model);
    Task Delete(Guid id);
}
```

Каждый метод возвращает объект типа Task, что позволяет использовать асинхронное программирование для выполнения операций. Реализация интерфейса IRecipeService будет включать в себя взаимодействие с контекстом базы данных, где будут выполняться соответствующие операции CRUD над объектами.

7. Слой представления

Слой представления отвечает за обработку пользовательских запросов и отображение данных. В приложении используется API с интеграцией Swagger для автоматической генерации интерактивной документации, анализа контроллеров и их методов.

Контроллеры в ASP.NET Core наследуются от базового класса `Controller` или `ControllerBase`. Они содержат методы, помеченные атрибутами маршрутизации (`[Route]`), определяющими URL, по которому доступны эти методы. Swagger взаимодействует с контроллерами, считывая маршруты, HTTP-методы и модели данных, используемые в методах.

В листинге 2 представлен фрагмент класса RecipeController – контроллера, обрабатывающего запросы, связанные с рецептами.

Листинг 2

Фрагмент класса RecipeController

```
[ApiController]
[ApiVersion("1.0")]
[Route("v{version:apiVersion}/[controller]")]
```

Окончание листинга 2

```
public class RecipeController : Controller
{
     // инициализация переменных и конструкторы…

    [HttpGet("")]
    public async Task<IEnumerable<RecipeResponse>>
GetAllRecipes()
    {
        var result = await recipeService.GetAllRecipes();
        return
mapper.Map<IEnumerable<RecipeResponse>>(result);
    }

    [HttpPost("{recipeId:Guid}/categories/{categoryId:Guid}")]
    [Authorize(Policy = AppScopes.RecipesWrite)]
    public async Task AddCategoryToRecipe([FromRoute] Guid
recipeId, [FromRoute] Guid categoryId)
    {
        await recipeService.AddCategoryToRecipe(recipeId,
categoryId);
    }

    // другие методы контроллера…
}
```

Заключение

В результате работы был проведен анализ существующих веб-приложений, специализирующихся на кулинарных рецептах и выявлены ключевые аспекты, требующие реализации. Разработана ER-модель базы данных, удовлетворяющей потребностям веб-приложения. Спроектирована и разработана серверная часть веб-приложения «Кулинарные рецепты», предоставляющая следующие возможности:

- аутентификация пользователей;
- публикация, просмотр, изменение и удаление рецептов;
- обсуждение рецептов посредством написания комментариев к ним;
- подписка на пользователей и рецепты;
- уведомление пользователей о новых рецептах и комментариях с помощью почтовых рассылок.

Список литературы

1. Cookpad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cookpad.com

2. Food [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.food.ru

3. Povarenok [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.povarenok.ru

4. ERwin Data Modeler [Электронный ресурс] : документация ERwin Data Modeler. – Режим доступа: https://bookshelf.erwin.com/bookshelf/public_html/2020R1/Content/Release%20Notes/Data%20Modeler%20Release%20Notes/6940.html

5. Мартин, С. Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения / Р. Мартин. – Питер: Питер, 2022. – 352 с.

6. Microsoft Learn [Электронный ресурс] : документация ASP.NET Core. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/en-aspnet/core/?view=aspnetcore-7.0/

7. Смит, Д. П. Entity Framework Core в действии / Д. Смит. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – 102 с.

Алгоритмизация процесса сжатия тестовых последовательностей, используемых в функциональном тестировании ПЛИС

В. А. Офицеров, email: tony_tabasko@mail.ru
Д. Н. Нестеров, email: nesterov@phys.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Разработан алгоритм сжатия тестовых последовательностей, который способствует уменьшению расхода памяти тестера, осуществляющего функциональное тестирование конкретных моделей ПЛИС.*

Ключевые слова: *ПЛИС, функциональное тестирование ПЛИС, Teradyne J750, язык шаблонов, сжатие, компиляция.*

Введение

В настоящее время во многих электронных системах применяются программируемые логические интегральные схем (ПЛИС), поскольку на их базе можно реализовывать сложные функциональные блоки и устройства. Однако, высокая стоимость производства ПЛИС требует особого внимания к процессу их тестирования.

Функциональное тестирование ПЛИС сложный и трудоёмкий процесс, требующий времени. Необходимо установить не только факт неисправности, но и точно локализовать её на кристалле. Именно поэтому производители данных устройств также выделяют большие ресурсы на поиски алгоритмов по автоматизации функционального тестирования ПЛИС.

Стоит отметить, что оборудование для проведения функционального тестирования ПЛИС имеет сложную аппаратную и программную структуру.

Цель работы: унификация тестовых последовательностей, применяемых в функциональном тестировании ПЛИС.

1. Маршрут тестирования ПЛИС

Функциональное тестирование ПЛИС предусматривает проверку всех её элементов: Logic Element (LE), содержащий Look-up Table (LUT), D-триггер; Logic Array Block (LAB), содержащий 16 LE, управляющие сигналы LAB, цепочки переноса LE, цепочки регистров, локальные межсоединения; блоки M9K памяти; встроенные

© Офицеров В. А., Нестеров Д. Н., 2025

умножители; блоки фазовой автоподстройки частоты. Проведение такого рода испытаний подразумевает использование нескольких конфигураций ПЛИС, поскольку не представляется возможным одной прошивкой выполнить проверку всей сформированной на ПЛИС логики [1].

Например, для тестирования LUT нужны конфигурации на базе функций «Исключающее ИЛИ» (XOR) и «Исключающее ИЛИ-НЕ» (XNOR). Рассмотрим принцип проведения функционального контроля на примере LUT с четырьмя входами. На рис. 1 показано соединение LUT. Сканирующая ячейка в данном случае будет включать в себя восемь LUT: четыре сконфигурированы для реализации логической функции XOR (LUT1, LUT2, LUT3, LUT4), оставшиеся четыре – XNOR (LUT5, LUT6, LUT7, LUT8). Тестовые сигналы с пинов A1, A2, A3, A4 подаются на LUT1, LUT2, LUT3, LUT4; сигналы с выходов таблиц соответствия B1, B2, B3, B4 передаются на LUT5, LUT6, LUT7, LUT8 в определенном порядке. При такой схеме выполняется равенство: Y1 = B2 = B3 = B4 = A1^A2^A3^A4, (1) C1=B1^A2^A3^A4=A1. Очевидно, что C2, C3, C4 соответственно равны A2, A3, A4. Таким образом входные сигналы равны выходным, и, если данное равенство выполняться не будет, LUT работает некорректно [2].

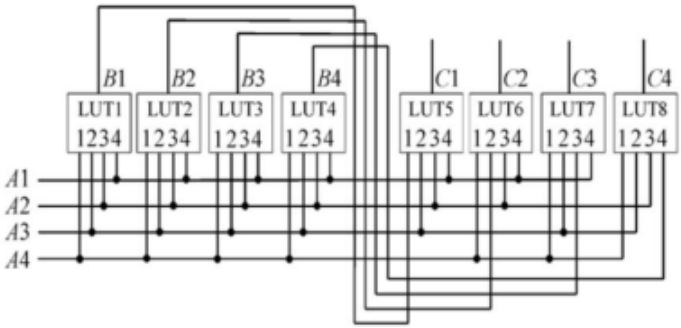


Рис. 1. Пример тестовой конфигурационной прошивки ПЛИС

2. Описание тестера Teradyne J750

Тестер J750 INTEGRA, производимый компанией Teradyne, США, предназначен для проведения функциональных и параметрических тестов цифровых устройств.

Все каналы в тестере – это отделенные измерительные устройства (pin-электроника или измеритель-на-канал), которые предоставляют

возможность конфигурировать и проверять параметры выводов контролируемой микросхемы. Каждый цифровой прибор обеспечивает 64 однополярных контактов/каналов. Блок схема цифровых приборов представлена на рис. 2 [3].

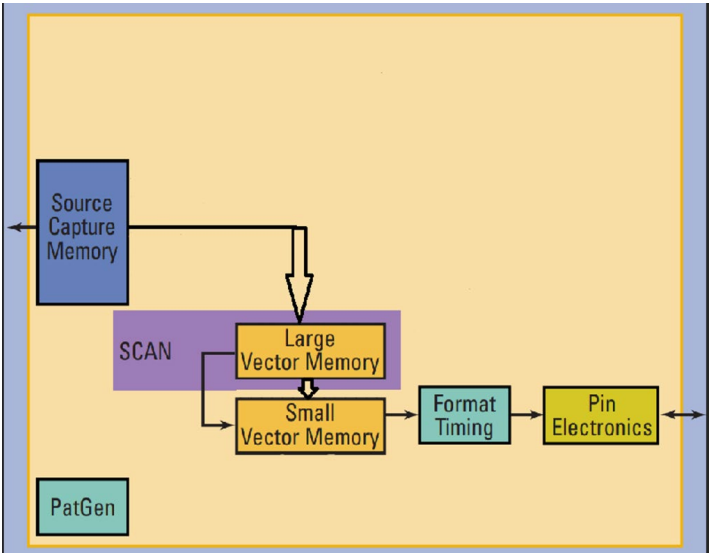


Рис. 2. Блок-схема цифрового прибора Teradyne J750

Тестер имеет 16 МБ большой векторной памяти LVM (Large Vector Memory) и блок векторной памяти подпрограмм SVM (Subroutine Vector Memory) объемом 1 КБ. Когда шаблоны компилируются в тестовую программу, векторы шаблонов хранятся в блоке LVM для каждого пина, а более сложные операционные коды, такие как циклы, ветвления, переходы при отказе устройства, хранятся в блоке SVM.

Каждый инструмент имеет свой собственный генератор шаблонов (PatGen), управляемый тактовой подсистемой прибора. PatGen управляет локальными событиями и настройками приборов [4].

3. Входные и обработанные программой данные. Описание структуры тестового шаблона

Язык шаблонов FLASH 750 – это язык программирования для записи шаблонов микрокода. Шаблоны могут включать микрокод, создаваемый генератором адресных данных FLASH 750.

Файл шаблона состоит из следующих элементов:

– утверждение pin_map: указывается work_book и лист, в которых определяются выводы и группы выводов. Компилятор шаблонов обращается к информации о pin_map, чтобы идентифицировать вывод или группы выводов и определить количество выводов в группе;

– импорт tset: импортирует имена tset (timing set). Аппаратное обеспечение тестера поддерживает 256 временных наборов, называемых tsets;

– утверждение vector: содержит список выводов.

Как говорилось ранее, тестер имеет два типа памяти шаблонов:

– SVM – это память с произвольным доступом, которая поддерживает все опкоды (операционные коды – инструкции, описывающее, какие операции необходимо совершить с вектором, который подается в качестве аргумента) шаблонов, включая те, которые изменяют поток выполнения, такие как return;

– LVM имеет большее время доступа, чем SVM, и выполняется только последовательно. В LVM можно использовать только подмножество опкодов.

Объем LVM намного больше, чем SVM:

– SVM вмещает 1K векторов (расширенный режим) или пар векторов (обычный режим);

– LVM вмещает 4M векторов (расширенный режим) или пар векторов (нормальный режим) [5].

Поскольку типичная тестовая последовательность может содержать 500K векторов, большинство векторов должно попадать в LVM. Компилятор шаблонов оптимизирует LVM и SVM, помещая как можно больше векторов в LVM и помещая в SVM только те векторы, которые могут быть выполнены непоследовательно.

На рис. 3 видно, что на первой строке файла-шаблона указываются tset, которые будут участвовать в векторном описании. Все имена tset 43 (временных наборов) в файле шаблона должны быть сначала импортированы с помощью оператора import tset.

На второй строке описывается оператор vector, который формирует тело файла шаблона. Он начинается с ключевого слова vector, за которым следует список выводов и векторные данные для выводов. Файл шаблона должен содержать только один оператор vector.

Структура описания оператора следующая:

vector (pin-list) {vector-data}.

pin-list назначает выводы векторным данным, которые следуют за списком выводов. Значение tset (timing set) может быть частью списка выводов; оно также может быть частью векторных данных. Так, начиная с символа «{» начинается перечисление векторов.

```
import tset TSet_2, TSet_JTAG, TSet_PS;
vector      ( $tset    , TDI, nCONFIG, CONF_DONE, ERR, nSTATUS, nCEO, TMS, TCK, TDO, TRST)
{
start_label startLabel:
repeat 4    > TSet_2     1    0       X          X    X       X     1    0    X    0    ;
            > TSet_2     1    0       L          H    L       H     1    0    X    0    ;
repeat 201  > TSet_2     1    1       L          H    X       H     1    0    X    1    ;
repeat 3    > TSet_2     1    1       L          H    H       H     1    0    X    1    ;
repeat 14   > TSet_JTAG  1    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
repeat 10   > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
repeat 776  > TSet_JTAG  1    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
repeat 5    > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
repeat 10   > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
repeat 776  > TSet_JTAG  1    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
repeat 5    > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
repeat 10   > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
repeat 5    > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  1    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  1    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  1    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  1    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  1    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
            > TSet_JTAG  0    1       X          X    X       X     0    1    X    1    ;
halt        > TSet_2     X    X       X          X    X       X     X    X    X    X    ;
}
```

Рис. 3. Пример файла-шаблона

На четвертой строке представлена метка start_label с именем startLabel. Стартовые метки нельзя переходить или вызывать как подпрограммы; они помещаются в LVM компилятором шаблона, если это возможно. Стартовые метки экспортируются, чтобы тестовая программа могла получить к ним доступ. Метка первого вектора паттерна не требуется. Если метка не указана, то начало паттерна и его модификация по умолчанию соответствуют первому вектору файла паттерна.

На пятой строке представлен первый вектор. Для данного вектора будет использоваться tset Tset_2. Импортированный tset должен быть указан после символа «>». На пины: INPUT0, nCONFIG, DCLK, CLOCK0 подается пассивный сигнал – символ «0», на DATA0 – активный сигнал – символ «1». При этом пины CONF_DONE, C00LT, ERR, nSTATUS, nCEO, C01LT маскируются с помощью символьного кода «X» и не влияют на выполнение вектора. Описание вектора заканчивается символом «;».

На строке шесть вектор описан с опкодом повтора repeat. С помощью него можно выполнить вектор указанное количество раз. repeat помещается 44 в LVM память. На пине ERR ожидается активный уровень сигнала, на это указывает символ «H».

На седьмой строке также есть опкод repeat, на пине nSTATUS ожидается пассивный уровень сигнала, это описано через символ «L».

Строка 15 содержит опкод ветвления halt. Он прекращает разрыв шаблона. Может использоваться в LVM.

Векторное описание заканчивается символом «}».

Определенная программа тестирования может включать в себя несколько десятков файлов-шаблонов, и в несжатом виде векторы из данных файлов могут полностью заполнить LVM и выйти за ее пределы. В таком случае провести тестирование, используя этот набор файлов, становится невозможным – файлы приходится разбивать на группы и выполнять тестирование последовательно несколько раз. Это затрудняет тестирование, поскольку приходится контролировать завершение работы одной группы, а после – запускать следующую группу файлов. Помимо того, что данный процесс не является автоматизированным, это влечет за собой еще и увеличение времени тестирования.

Чтобы исправить данную ситуацию, необходимо сжать тестовую последовательность. Это возможно сделать с применением опкода call и меток subr.

Векторы, помещенные в subr, вызываются как подпрограмма файла шаблона.

Call выполняет подпрограмму по метке subr. Данный опкод помещается в LVM, при этом будет занимать гораздо меньше места в памяти.

Также после описания одного из subr следует опкод return, который производит возврат из подпрограммы. return всегда попадает в SVM.

Метки с найденными последовательностями, которые можно сжать, помещаются в LVM и SVM, тем самым сокращая занимаемое место в памяти. 45

Пример файла-шаблона, в котором используется метка указан на рис. 4. После опкода call и обозначение subr указывается название метки. return возвращает вектор, который должен идти после выполнения подпрограммы.

```
import tset TSet_2, TSet_JTAG, TSet_PS;
vector      ( $tset    , TDI, nCONFIG, CONF_DONE, ERR, nSTATUS, nCEO, TMS, TCK, TDO, TRST)
{
start_label startLabel:
repeat 4            > TSet_2     1   0       X         X   X       X    1   0   X    0   ;
                    > TSet_2     1   0       L         H   L       H    1   0   X    0   ;
repeat 201          > TSet_2     1   1       L         H   X       H    1   0   X    1   ;
repeat 3            > TSet_2     1   1       L         H   H       H    1   0   X    1   ;
repeat 14           > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
repeat 10           > TSet_JTAG  0   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
call sbr_label_0    > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
call sbr_label_0    > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
call sbr_label_0    > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
repeat 5            > TSet_JTAG  0   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
call sbr_label_1    > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
call sbr_label_1    > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
call sbr_label_1    > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
halt                > TSet_2     X   X       X         X   X       X    X   X   X    X   ;
subr sbr_label_0:
repeat 775          > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
repeat 5            > TSet_JTAG  0   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
repeat 9            > TSet_JTAG  0   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
return              > TSet_JTAG  0   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
subr sbr_label_1:
                    > TSet_JTAG  0   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
                    > TSet_JTAG  1   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
return              > TSet_JTAG  0   1       X         X   X       X    0   1   X    1   ;
}
```

Рис. 4. Пример файла-шаблона с использованием метки

4. Описание программы для сжатия тестовых последовательностей

Алгоритм работы программы представлен на рис. 5.

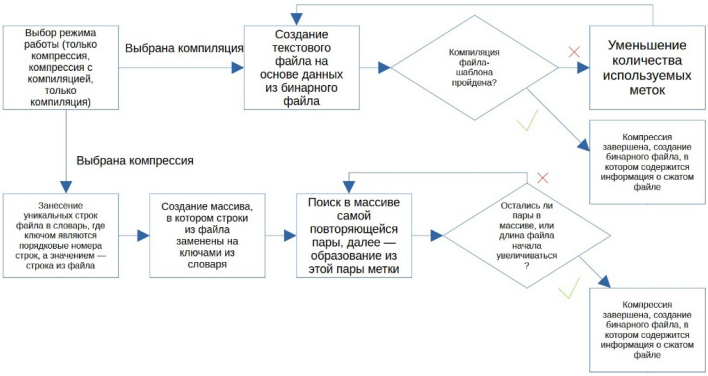


Рис. 5. Алгоритм работы программы

В случае выбора режима – только компрессия и компрессия с компиляцией, программа определяет начало и конец векторного пространства (по символам «{» и «}»). Положим количество строк, равное N. Уникальные строки файла заносятся в словарь, где ключом являются порядковые номера строк. Далее создается и заполняется массив file_data индексами из словаря. Массив представляет из себя упорядоченные также, как и в файле набор тестовых векторов, только замененные ключами из словаря. То есть если две строки в исходном файле совпадают, то в массиве file_data они будут иметь один и тот же индекс, который соответствует позиции первого появления этой строки в файле.

Также вводится массив флагов file_ignore, который будет служить вспомогательным контейнером для поиска длин встречающихся последовательностей-кандидатов для образования метки. Он имеет такую же, как и file_data размерность, и указывает на порядковый номер элемента, который был поглощен меткой. Сначала он заполняется значениями false.

На первой итерации находятся наиболее повторяющиеся наборы пар векторов, самая частая из них заменяется в file_data на N+1, а в file_ignore второй элемент пары заменяется на 1.

На второй и последующих итерациях пары векторов сравниваются не только по частоте появления, а и по длине уже образующейся метки. Для этого вводится весовой коэффициент, равный произведению длины

пары на частоту ее появления. Соответственно, пара с самым большим весовым коэффициентом будет расширена.

При этом могут возникать пары, собравшие в себя большое количество других векторов, но их частота будет равна единице. В таком случае при возвращении к строчному представлению векторов прироста в сжатии наблюдаться не будет. Такие пары необходимо разворачивать до тех пор, пока образующиеся порожденные пары не будут иметь частоту как минимум 2.

На каждой итерации также вычисляется потенциальная длина файла.

Условий выхода из цикла сжатия два: остаются только пары с единичной частотой или в процессе сжатия длина файла начинает расти. При втором условии заапоминаются данные сжатой тестовой последовательности, с наименьшей длиной файла. Порог выхода из цикла следующий: текущая длина файла больше минимальной зафиксированной на 15 процентов.

Результатом компрессии является бинарный файл, содержащий сериализованные объекты-метаданные сжатой тестовой последовательности. Сделано это для экономии места на диске.

Программа способна работать в режиме многопоточности. Необходимо указать папку с файлами, которые необходимо сжать, далее вычисляется длина каждого из файлов, с помощью алгоритма жадного разбиения файлы равномерно распределяются по потокам в зависимости от длины для ускорения процесса компрессии. Количество потоков выбрано 10. Если файлов больше десяти, на каждом из потоков создается очередь. После окончания сжатия одного из десяти файлов в освободившийся поток помещается новая тестовая последовательность.

Помимо компрессии файлы можно компилировать также в несколько потоков. Для этих целей из программы в консольном режиме вызывается компилятор паттернов, куда передаются пути к сжатым файлам, которые предварительно переводятся из бинарного вида в текстовый.

Компилятор проверяет заполнение SVM, если сжатая тестовая последовательность выходит за ее пределы, необходимо уменьшать количество используемых меток.

Для ускорения процесса компиляции используется следующий алгоритм: при ошибке количество меток уменьшается в два раза, до тех пор, пока не будет достигнут первый положительный результат компиляции. Далее к файлу, который прошел компиляцию, прибавляется по одной метке до значения, которое равно 15 процентов от количества меток в первой тестовой последовательности, образованной от деления

на два от исходного сжатого файла. На этом этапе выбирается крайняя безошибочная тестовая последовательность. Она и будет считаться результатом компиляции и может использоваться в дальнейшем для функционального тестирования устройств.

Файлы проходят компиляцию в несколько потоков, тестовые последовательности в потоки распределяет алгоритм жадного разбиения.

Статистика работы программы-компрессора представлена в таблице. Разработанный алгоритм и написанное на его основе программное обеспечение также позволило уменьшить время тестирования на 30 %, по сравнению с последовательным групповым подходом к тестированию с помощью файлов-шаблонов. Количество строк в файле может отличаться в зависимости от типа тестируемого изделия, выбора метода функционального тестирования.

Таблица

Пример сжатия шести различных файлов с указанием их длины после компрессии и количество используемых меток при сжатии

Номер файла	Количество строк в исходном файле	Количество строк в сжатом файле	Количество меток в сжатом файле
1	1099420	26626	120
2	26087	10766	198
3	83626	17594	298
4	1091264	24603	118
5	83872	17872	299
6	20761	6115	148

Заключение

В ходе данной работы был разработан алгоритм сжатия тестовых последовательностей, который способствует уменьшению расхода памяти тестера, осуществляющего функциональное тестирование конкретных моделей ПЛИС; разработано программное обеспечение на основе предложенного алгоритма сжатия тестовых последовательностей; разработанный алгоритм сжатия и написанное на его основе ПО, позволили сократить объем занимаемого места на диске файлами-шаблонами без потери эффективности функционального тестирования ПЛИС.

Литература

1. Брехов, О. М. Сравнительный анализ тестовых систем ПЛИС и их окружения / О. М. Брехов, М. О. Ратников // Труды МАИ. – 2022. – №. 125. – С. 529-577.

2. Огурцов, А. А. Проведение функционального контроля программируемых логических интегральных схем / А. А Огурцов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2017. – Т. 16. – №. 4. – С. 137-146.

3. ООО «Совтест АТЕ». Тестеры микросхем для функционального и параметрического контроля ИС и СБИС, Teradyne, США : технический каталог / ООО «Совтест АТЕ». – Курск, [б.г.]. – 5 с. – Режим доступа: https://sovtest-ate.com/sites/default/files/J750_FLEX.pdf?ysclid=m6ng94rera60138477

4. Teradyne Inc. Integra FLEX System Description [Электронный ресурс]. – 2002. – 83 с. – Режим доступа: http://bill-lundgren.com/pages/OEM_2010RevA/Elements/portfolio/GraphicDesign/Manuals/Manual-TRD_FLEX.pdf

5. Teradyne. Pattern Language Reference: FLASH 750 Software Release 1.0 [Электронный ресурс]. – Part Number 560-966-00, Revision 1. – 112 с. – Режим доступа: http://www.geocities.ws/jimliston/pattern.pdf

Анализ приложений для проведения исследований потребностей клиентов

А. А. Попова, email: anastasia.popova.36@mail.ru
М. В. Матвеева, email: marie.matveeva@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Проанализированы способы проведения исследований потребностей клиентов. На основе результатов анализа выбраны характеристики разрабатываемого приложения.*

Ключевые слова: *маркетинг, исследование потребностей клиентов, анализ потребностей клиентов, анализ решений.*

Введение

Во все времена для людей, занимающихся продажей каких-либо товаров, было важно мнение клиентов. Современный маркетинг использует новейшие способы исследования потребностей клиентов, учитывая их психологические портреты, интересы, материальный достаток и многое другое. В настоящее время огромную значимость как при запуске нового продукта на рынке, так и при совершенствовании уже имеющегося имеет такой способ исследования, как Customer development или сокращенно CustDev.

Автор способа Стив Бланк придумал данную методику как инструмент для повышения успешности запуска стартапов. В книге он описывает основные инструменты, которые должен включать в себя CustDev. Первый из них – MVP (minimal viable project) – версия продукта, которая выполняет основную функцию, но еще не идеальна. Второй – глубинные интервью, помогающие выявить слабые места и «боли» покупателей, которые повлияют на желание клиента приобрести продукт. И третий – CJM (customer journey map) – карта пути клиента. Это визуальная схема, которая показывает весь путь взаимодействия клиента и компании. Наиболее ресурсозатратный и сложный инструмент – интервью, потому что для еще не запустившегося продукта крайне сложно найти аудиторию, которая может поучаствовать в исследовании. В данной работе будут проанализированы существующие способы проведения интервью и на их основе сделаны выводы относительно разработки приложения для их проведений [1-2].

© Попова А. А., Матвеева М. В., 2025

1. Существующие сервисы для проведения CustDev

Приступая к проведению исследований, в первую очередь маркетолог ищет способы, которые могли бы ему помочь. Существует несколько сервисов, которые могут обеспечить необходимую функциональность.

1. User Testing. Англоязычная платформа для получения обратной связи от потенциальных клиентов. Позволяет проводить опросы, интервьюировать пользователей в режиме реального времени.
2. BetaList. Англоязычная платформа, куда владельцы стартапов могут загрузить свой проект и получить обратную связь от клиентов.
3. Яндекс.Взгляд. Сервис для анкетирования респондентов, который содержит шаблоны опросов или предлагает создать собственный с нуля.

На рис. 1 представлено сравнение сервисов по следующим критериям: возможность использования для произведения исследований на территории Российской Федерации, наличие бесплатной версии, наличие ограничений на количество вопросов в исследовании, возможность получать развернутые ответы на вопросы.

№ п/п	Название сервиса	Возможность использования в РФ	Бесплатная версия	Ограничение на кол-во вопросов	Возможность задавать вопросы с развернутым ответом
1	User Testing	нет	нет	нет	есть
2	BetaList	нет	есть	нет	есть
3	Яндекс. Взгляд	есть	нет	есть	нет

Рис. 1. Анализ сервисов для проведения CustDev

Из сравнения можно сделать вывод, что самым подходящим по всем критериям вариантом является BetaList, но у него есть два существенных минуса: сервис работает только на англоязычную аудиторию, а также подходит только для стартапов и не реализует возможность проведения исследований мнения клиентов по уже давно запущенным продуктам.

Исходя из результатов анализа сервисов был сделан вывод, что при проектировании русскоязычного приложения важно учесть:

1. Наличие возможности использования сервиса любыми участниками рынка.
2. Возможность самостоятельного формирования анкеты с любым количеством вопросов и любой формулировкой вопросов.

2. Исследование потребностей клиентов с учетом особенностей личности

Чтобы сделать исследование потребностей клиентов наиболее «чистым», необходимо учитывать психотип личности клиента, его интересы.

В продажах есть 4 основных психотипа покупателей, к которым требуется различный подход и различная формулировка вопросов для исследований. К ним относятся: традиционалисты (при работе с такими клиентами нужно сделать упор на экономию и простоту выбора, предоставить уже готовый сравнительный анализ), гедонисты (при работе с такими клиентами важно делать упор на престиж товара – они готовы потратить большие деньги на продукт, которым пользуется какой-то известный человек), рационалисты (при работе с ними важно раскрывать товар с точки зрения соотношения цена/качество), идеалисты (такие клиенты предпочитают духовные ценности материальным, поэтому при работе с ними важно делать упор на эмоции, которые приносит использование товара) [3].

Например, при продаже автомобилей стоит учитывать, что гедонист сделает выбор в пользу элитной марки, а рационалист выберет наиболее надежный вариант, который спасет ему жизнь при попадании в аварию.

Также не последнюю роль в исследовании потребностей клиентов играет род деятельности покупателя: важно уточнить, с какой целью он будет использовать продукт, чего хочет достичь с его помощью, каких результатов ожидает [4].

Например, при продаже курсов для подготовки к ЕГЭ следует ориентироваться на направленность ученика (гуманитарное или техническое), его цели по баллам, отношения с родителями (так как от этого аспекта зависит, какие аргументы нужно приводить в пользу покупки продукта).

Из сказанного выше можно сделать вывод, что при проектировании приложения важно учесть первичное входное тестирование для клиентов, которое позволит отнести его к одной из групп по увлечениям и психотипу покупателя.

3. Анализ практики проведения исследований в компании

Из-за слабого развития сервисов для проведения CustDev на территории Российской Федерации каждая компания разрабатывает собственные способы проведения исследований.

Рассмотрим пример компании ООО «ЕГЭLand», занимающейся продажей образовательного контента для подготовки к ЕГЭ и ОГЭ на территории Российской Федерации. Так как сервисов, позволяющих

проводить подходящие исследования, нет, все действия осуществляются вручную. На рис. 2 представлен пример заполнения таблицы с исследованием при запуске нового направления подготовки. Информация слабо структурирована, нет распределения по категориям опрашиваемых, нет группировки по требованиям к продукту. В таблице представлены ответы более чем на 30 вопросов от 30 респондентов, и по таким данным анализ сделать крайне трудно.

	Требования к продукту					
Выдели, пожалуйста, самые важные аспекты в подготовке по инфе. Обоснуй, почему для тебя это важно	А какие темы даются тебе тяжелее всего? Почему?	Какие легче? Почему?	Какие номера тебе тяжелее всего даются? Почему?	Как ты обычно запоминаешь информацию по информатике?	А что для тебя важнее в информатике: практика или теория? Почему?	Вот если говорить про теоретический материал, то какой уровень сложности должен быть у него?
Практика мне очень важна	Эксель дается тяжелее всего, не понимает	легче всего номера 1,2,6	8,22 ,9 13 номер вообще не изучала еще	Всё запоминаю через практику Никогда не сидела не заучивала ничего, алгоритм запоминаю за счет практики	Практика важнее Прорешивание более сложных номеров очень важно	На среднем уровне сложность была, уровень егэ
главное - чтобы было структурированность и хотелось бы разбирать тонкости не просто шаблон какой-то, а прям глубже вникать во все это	нет отдельных тем на пайтоне тяжело додуматься, какие-то сложности большинство заданий шаблонные, но и там бывают ошибки	которые рукой можно сделать решать не программированием, а самоу решать (она этим в 10 классе занималась)	последний во второй части с программированием, потому что там тяжело додуматься что вписать, чтобы не было ошибок в коде	просто вникает, знает азы, знает функции никак не зубрю, просто решаю и все	50/50 у большинства теории недостаточно и практика очень важна супер пупер теории не выдать, но знать базу обязательно надо	то чего нет в егэ было бы супер разбирать, то есть немного сложнее, чем то что есть на экзах

Рис. 2. Пример хранения результатов исследований

Главные выводы, сделанные из анализа текущего способа информации, полученной в ходе исследования: при ручном вводе данных менеджерами не осуществляется даже первичный анализ ответов, что сводит пользу исследования к нулю. При проектировании приложения для проведения CustDev важно учесть поиск ключевых слов в ответах респондентов и группировку анкет по ключевым словам, чтобы сделать более объективным анализ поступающей информации.

На рис. 3 представлен пример итоговой аналитики по критерию «Что заставило задуматься о покупке?». Каждая диаграмма составляется вручную из анализа ответов в таблице, которая по структуре идентична

таблице, представленной на рис. 2. Как видно из рис. 3, человеческий фактор приводит к тому, что на 30 опрошенных было выявлено 18 различных причин покупки продукта, что не позволяет сделать вывод об основных триггерах клиентов.



Рис. 3. Пример визуализации итогов исследований, сделанной на основе таблицы из рис. 2

Из примера выше можно сделать вывод, что при проектировании приложения важно учесть возможность создания диаграмм на основе сгруппированных данных. Более того, стоит учесть возможность регулировки «точности» совпадения ответов при анализе данных.

4. Выбор формата реализации приложения

Финальный пункт, который стоит учесть при проектировании приложения – его формат реализации. Проведем сравнительный анализ следующих решений: мобильное приложение, веб-приложение и десктопное приложение.

Анализ будем проводить по следующим критериям: доступность для респондента, удобство для маркетолога, возможность реализации необходимой функциональности. Результаты анализа приведены на рис. 4.

№ п/п	Решение	Доступность для респондента	Удобство для маркетолога	Реализация функциональности
1	Мобильное приложение	Необходимо скачивание	Возможность работать только с мобильного устройства	Полная реализация
2	Веб-приложение	Доступно при наличии интернета	Возможность работать с любого устройства	Полная реализация
3	Десктопное приложение	Необходима установка	Возможность работать только с компьютера	Полная реализация

Рис. 4. Анализ решений

Результатом сравнительного анализа стал следующий вывод: наиболее подходящим вариантом как для респондента, так и для маркетолога, будет веб-приложение.

При анализе учитывалась простота доступа респондента, так как сам опрос чаще всего занимает не более получаса, и установка приложения с целью прохождения опроса может стать обременением, а значит, и количество респондентов будет низким. Также учитывалось удобство для маркетолога, так как веб-приложение может обеспечить бесперебойную работу из любой точки мира и с любого устройства [5].

Заключение

В данной статье был рассмотрен анализ предметной области с целью поиска лучшего решения для разработки приложения для проведения CustDev исследований. Были рассмотрены существующие решения, практические способы проведения исследований в компании, а также наиболее популярные способы классификации клиентов. В итоге проделанной работы был сделан вывод, что наиболее предпочтительно будет разрабатывать веб-приложение, в котором обязательно должна быть следующая функциональность: возможность маркетолога самостоятельно выбирать суть и наполнение вопросов, возможность первичного анализа ответов по ключевым словам, генерация визуализации для отчетов с возможность регулирования точности совпадения ответов, обязательное проведение первичного психологического тестирования респондента перед непосредственно проведением опроса.

Список литературы

1. Бланк, С. Четыре шага к озарению. Стратегии создания успешных стартапов / С. Бланк. – М.: ООО «Альпина Паблишер», 2014. – 609 с.

2. Альварес, С. Как создать продукт, который купят. Метод Lean Customer Development / С. Альварес. – М.: ООО «Альпина Паблишер», 2016. – 323 с.

3. Дули, Р. Нейромаркетинг. Как влиять на подсознание потребителя / Р. Дули. – Минск: ООО «Попурри», 2013. – 273 с.

4. Акулич, М. Маркетинговые исследования в Интернете / М. Акулич. – Екатеринбург: ООО «Издательские решения», 2022. – 126 с.

5. Акулич, М. Успешная разработка и запуск мобильных приложений / М. Акулич. – Екатеринбург: ООО «Издательские решения», 2019. – 58 с.

Универсальный переносимый драйвер нажимной кнопки для операционной системы FreeRTOS для реализации человеко-машинного интерфейса в устройствах на основе микроконтроллера

А. Ю. Савинков, email: savinkov_a_yu@sc.vsu.ru [1]

[1] ФГБОУ ВО «ВГУ»

Аннотация. *В работе предложена концепция и программная реализация драйвера нажимной кнопки для операционной системы FreeRTOS, предназначенного для использования в реализациях человеко-машинного интерфейса в устройствах на основе микроконтроллера. Драйвер обеспечивает адаптивную программную защиту от дребезга контактов кнопки, программную защиту от ненадежного замыкания контактов кнопки в нажатом положении и совместим с энергосберегающими режимами работы микроконтроллера.*

Ключевые слова: *Микроконтроллер, FreeRTOS, кнопка нажимная, дребезг контактов (contact bounce).*

Введение

Реализация человеко-машинного интерфейса определяется возможностями интерфейсных устройств. При наличии даже простейшего однострочного алфавитно-цифрового дисплея и энкодера можно реализовать систему меню для управления устройством на основе микроконтроллера. Но часто в силу имеющихся ограничений на габариты, энергопотребление и стоимость устройства, а также ввиду недостаточного числа выводов микроконтроллера или специфики применения устройства, использовать даже простейший дисплей невозможно или нецелесообразно. Тогда единственным доступным интерфейсным устройством человеко-машинного интерфейса остается кнопка нажимная [1]. При этом в силу уже отмеченных ограничений на габариты устройства и число выводов микроконтроллера, для устройств с большим количеством функций и режимов работы, как правило, не удается реализовать простейшую модель управления кнопками, когда за каждой функцией или режимом работы устройства закреплена отдельная кнопка. Тогда для реализации всех требуемых функций управления приходится вводить поддержку более сложных моделей использования кнопок, различая короткие нажатия на кнопку (щелчки), двойные щелчки, долгие нажатия на кнопку (удержание) и т.п.

© Савинков А. Ю., 2025

В работе предлагается реализация переносимого (не зависящего от используемого микроконтроллера) драйвера нажимной кнопки для операционной системы FreeRTOS. Предложенный драйвер обеспечивает адаптивную программную защиту от дребезга контактов, программную защиту от ненадежного замыкания контактов при нажатой кнопке (при удержании кнопки в нажатом положении цепь иногда может кратковременно разрываться). Драйвер совместим с режимами энергосбережения микроконтроллера (нажатие кнопки будет выводить микроконтроллер из режима энергосбережения в нормальный режим работы) и предоставляет возможности гибкой настройки конфигурации (выбор отслеживаемых событий, настройка таймаутов).

1. Концепция драйвера

Исходя из компромисса между числом различаемых драйвером действий с кнопкой и сохранением удобства использования интерфейса, в драйвере отслеживаются следующие действия с кнопкой:

- нажатие кнопки;
- отпускание кнопки;
- щелчок – любое нажатие с последующим быстрым отпускание кнопки (событие щелчка фиксируется в момент отпускания кнопки);
- чистый щелчок – отдельный одиночный щелчок, который не входит в двойной щелчок или более длинную серию быстрых щелчков;
- двойной щелчок – отдельная пара быстрых щелчков, которая не входит в более длинную серию быстрых щелчков;
- паника – серия как минимум из четырех быстрых щелчков;
- удержание – нажатие кнопки и удержание ее в нажатом состоянии в течение заметно большего времени, чем при щелчке (событие удержания фиксируется по времени удержания кнопки в нажатом состоянии, отпускание кнопки не требуется);
- долгое удержание – нажатие кнопки и удержание ее в нажатом состоянии в течение заметно большего времени, чем при обычном удержании.

При выполнении оператором одного их перечисленных выше действий с кнопкой, драйвер вызывает пользовательскую функцию обратного вызова, зарегистрированную для данного события.

Для обеспечения переносимости (независимости от используемого микроконтроллера и библиотеки низкоуровневых операций) драйвер полагается на внешнюю (пользовательскую) реализацию функции проверки физического состояния кнопки (нажата или отжата).

Определение функции проверки физического состояния кнопки, принятое в драйвере, показано в листинге 1.

Листинг 1

```
typedef bool (*Button_check_pushed_routine_t)();
```

Функция должна возвращать true, если кнопка нажата и false в противном случае. Указатель на данную функцию передается в драйвер при его инициализации.

Пример реализации функции проверки физического состояния кнопки B1 (Blue button) на оценочной плате (Discovery kit) STM32F401C-DISCO [2] компании STMicroelectronics с использованием STM HAL [3] показан в листинге 2.

Листинг 2

```
bool is_blue_button_pushed() {
  return HAL_GPIO_ReadPin(B1_GPIO_Port, B1_Pin) ==
    GPIO_PIN_SET;
}
```

Пример реализации функции проверки физического состояния кнопки BTN1 на оценочной плате LAUNCHXL-CC1310 [4] компании Texas Instruments с использованием библиотеки TI-RTOS Drivers [5] показан в листинге 3.

Листинг 3

```
bool is_btn1_button_pushed() {
  return PIN_getInputValue(CC1310_LAUNCHXL_PIN_BTN1);
}
```

Для работы с драйвером, нажимная кнопка должна подключаться к одному из входов запроса внешнего прерывания микроконтроллера (EXTI). При этом в микроконтроллере должен быть настроен режим прерывания по любому изменению уровня сигнала на входе EXTI, чтобы фиксировать события нажатия и отпускания кнопки.

Для обеспечения переносимости драйвер не использует аппаратно-зависимый механизм прямого вызова обработчика прерывания при запросе прерывания EXTI, вместо этого драйвер предоставляет функцию обратного вызова Button_Isr(), которая должна быть вызвана пользователем из обработчика соответствующего (связанного с кнопкой) прерывания EXTI. Определение функции обратного вызова для обработки прерывания показано в листинге 4.

Листинг 4

```
void Button_Isr(ButtonHandle_t button)
```

Тип ButtonHandle_t определен как указатель на void. После инициализации драйвера этот указатель фактически адресует скрытую от пользователя внутреннюю структуру драйвера, содержащую настройки и текущее состояние драйвера.

При выполнении с кнопкой одного их распознаваемых драйвером действий, вызывается пользовательская функция обратного вызова, которая должна быть предварительно зарегистрирована в драйвере вызовом функции драйвера Button_Register_Callback(), определенной как показано в листинге 5.

Листинг 5

```
void Button_Register_Callback(
    ButtonHandle_t button,
    Button_Callback_Id callback_id,
    Button_callback_routine_t callback_routine,
    void* callback_routine_arg);
```

Параметр callback_id определяет событие, для которого регистрируется функция (как элемент перечисления Button_Callback_Id: Button_Click_Callback, Button_Hold_Callback и др.), callback_routine – указатель на пользовательскую функцию обратного вызова, определенную как показано в листинге 6, callback_routine_arg – аргумент, который будет передаваться в пользовательскую функцию обратного вызова

Листинг 6

```
typedef void (*Button_callback_routine_t)(void*);
```

Приложение не будет уведомляться о действиях, для которых оно не зарегистрировало функцию обратного вызова. Например, можно зарегистрировать функцию типа Button_Click_Callback и не регистрировать функцию типа Button_Clicked_Callback, тогда приложение будет получать уведомление о чистом щелчке кнопкой и не будет получать уведомления о щелчках, которые являются частью двойного щелчка или более длинной серии быстрых щелчков.

2. Защита от дребезга контактов и ненадежного замыкания контактов при нажатой кнопке

С негативным влиянием дребезга контактов кнопки (неконтролируемой серии случайных замыканий и размыканий контактов кнопки при ее нажатии и отпускании) разработчики цифровых электронных устройств столкнулись сразу же после перехода от электромеханических реле к быстродействующим транзисторным ключам. В одной из первых публикаций на эту тему [6] исследуются физические процессы, вызывающие дребезг контактов, анализируется

влияние формы и материала контактов с целью минимизации продолжительности дребезга. Тем не менее, до настоящего момента данная проблема не решена конструктивно или технологически, практически все механические коммутаторы подвержены дребезгу контактов, что приводит к необходимости применения аппаратных (схемотехнических) или программных методов защиты от дребезга контактов в составе устройства. В [7] можно найти хорошее описание наиболее распространенных схемотехнических и программных решений для защиты от дребезга. Заметим, что аппаратные методы требуют усложнения схемы устройства, ведут к необходимости размещения дополнительных компонентов на печатной плате устройства и в конечном итоге приводят к росту стоимости и габаритов устройства. При использовании микроконтроллера программные методы защиты от дребезга выглядят предпочтительнее.

Наибольшее распространение получили следующие две техники программной защиты от дребезга контактов:

– задержка считывания состояния GPIO после первого изменения, которое регистрируется по прерыванию EXTI;
– постоянный периодический опрос GPIO без использования прерываний (polling), при этом новое состояние кнопки фиксируется, если несколько последовательных считываний состояния GPIO кнопки дает одинаковый результат.

Первый подход прост в реализации и совместим с использованием энергосберегающих режимов работы, но требует априорно определить величину задержки для считывания состояния кнопки. Заметим, что продолжительность дребезга контактов зависит от разных факторов, например, силы нажатия на кнопку, и может варьироваться в широких пределах. Выбор слишком малого времени задержки приведет к появлению ложных срабатываний в некоторых случаях, когда реализовался длительный дребезг. Попытка защиты от такой ситуации за счет выбора заведомо большей задержки, перекрывающей по длительности любую, даже редкую реализацию дребезга, может привести к заметной задержке (лагу) интерфейса, что как минимум, вызывает неудобство у пользователя, а в некоторых случаях недопустимо, например, для кнопки аварийной остановки какого-либо механизма.

Второй подход адаптивно подстраивается под длительность дребезга контактов и надежно фиксирует изменения состояния кнопки без лишней задержки, но несовместим с энергосберегающими режимами из-за необходимости постоянного опроса GPIO кнопки с частотой порядка ста раз в секунду. В реальных устройствах частота

нажатия на кнопки может быть очень низкая, вплоть до одного раза в несколько лет, например, при начальной настройке устройства после замены элемента питания. Постоянный опрос кнопки при таком сценарии использования устройства приведет к существенному сокращению времени автономной работы.

Предлагается совместить достоинства обоих методов программной защиты от дребезга контактов и устранить их недостатки за счет адаптации времени задержки перед считыванием состояния кнопки.

Концепция предлагаемого алгоритма защиты от дребезга контактов поясняется на рис. 1.

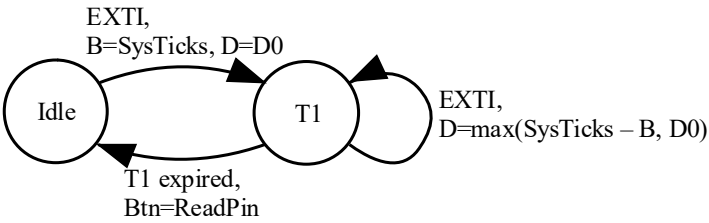


Рис. 1. Диаграмма состояний системы защиты от дребезга контактов

Изначально система защиты от дребезга контактов находится в неактивном состоянии (Idle). При возникновении запроса внешнего прерывания (EXTI) на линии подключения кнопки, в переменной B запоминается текущее системное время FreeRTOS и запускается таймер T1 на начальное время D0, определяемое конфигурацией драйвера. Если в течении выдержки таймера происходит новое прерывание EXTI, т. е. процесс дребезга контактов продолжается, то таймер перезапускается на новый интервал времени, равный интервалу времени от начального момента времени B до текущего системного времени FreeRTOS (но не менее D0). Таким образом, реализуется адаптивное ожидание завершения дребезга контактов.

При срабатывании таймера T1 фиксируется текущее состояние кнопки, и система защиты от дребезга контактов возвращается в исходное состояние (Idle).

Рассмотрим теперь функцию защиты от ненадежного замыкания контактов кнопки в нажатом положении. При использовании качественных механических кнопок надобности в такой защите не возникает, но в реальных устройствах часто используются дешевые плёночные кнопки или кнопки на основе коврика из токопроводящей резины, которые не обеспечивают надежного постоянного контакта при

удержании кнопки в нажатом положении. Особенно заметно проблема проявляется после некоторого времени эксплуатации устройства из-за стирания и загрязнения токопроводящего слоя. В результате пользователи сталкиваются с неудобством использования функций управления, связанных с длительным удержанием кнопки в нажатом состоянии, т. к. даже кратковременная потеря контакта в кнопке воспринимается интерфейсом как отпускание кнопки. Для защиты от кратковременных потерь контакта при удержании кнопки в нажатом состоянии, в предлагаемом драйвере используется дополнительный таймер T2, который задерживает на некоторое время передачу информации об отпускании кнопки из системы защиты от дребезга контактов в функцию классификации событий (Button Logic). Если за время выдержки таймера T2 контакт в кнопке восстановится, то событие кратковременного отпускания кнопки игнорируется.

Блок-схема алгоритма защиты от дребезга контактов и ненадежного контакта при нажатом состоянии кнопки приведена на рис. 2.

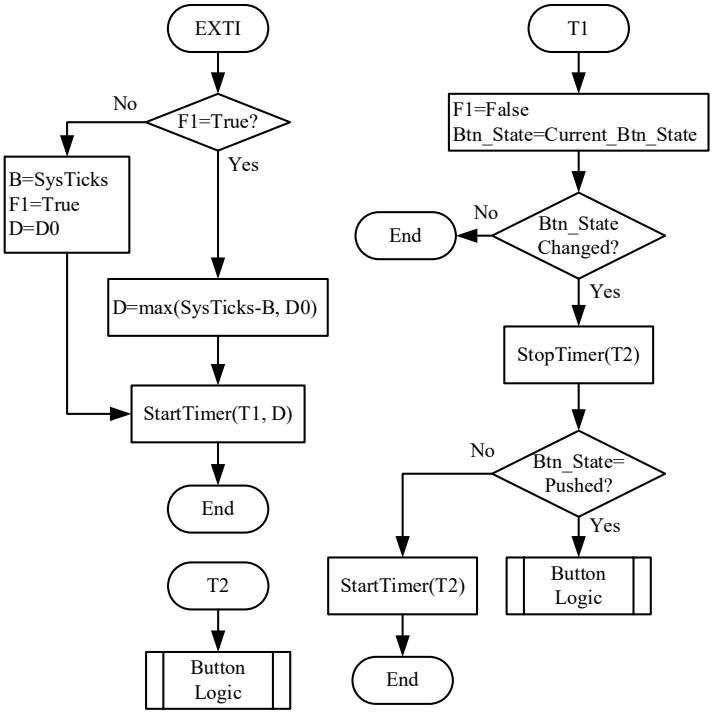


Рис. 2. Алгоритм защиты от дребезга контактов кнопки

3. Алгоритм классификации событий (Button Logic)

Блок-схема алгоритма классификации событий (действий с кнопкой) приведена на рис. 3.

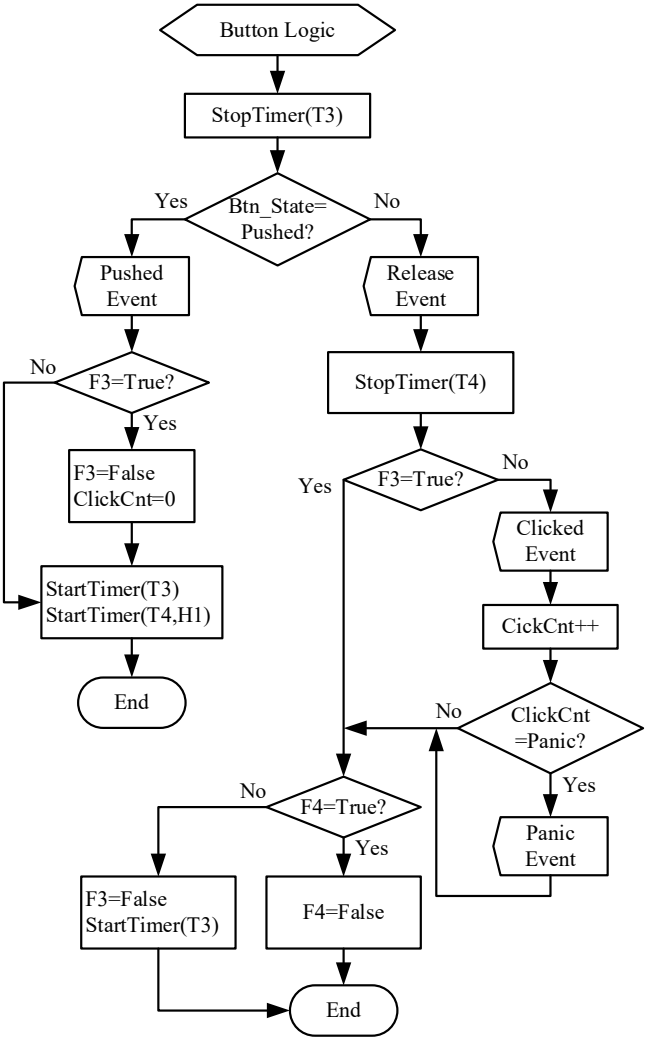


Рис. 3. Алгоритма классификации событий

Таймер T3 используется для определения щелчка кнопкой (нажатие кнопки и последующее отпускание через небольшое время), а также для определения окончания серии быстрых щелчков. Таймер T4 используется для определения длительного удержания кнопки в нажатом состоянии. Алгоритмы обработки событий таймеров T3 и T4 показаны на рис. 4. и будут рассмотрены позже.

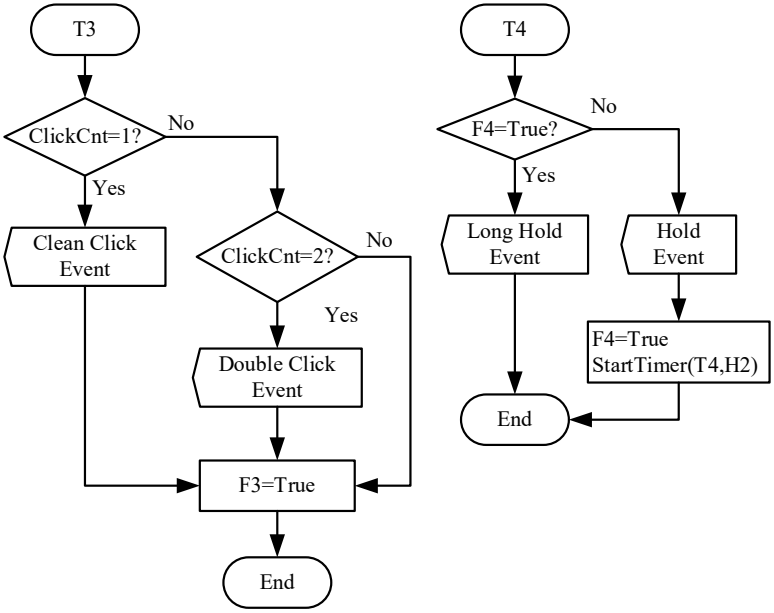


Рис. 4. Алгоритмы обработки событий таймеров T3 и T4

Алгоритм классификации событий активируется при изменении состояний кнопки (нажата или отжата). События отпускания и нажатия кнопки рассматриваются независимо.

Следствием нажатия кнопки является событие «нажатие кнопки», которое инициирует обратный вызов связанной пользовательской функции, если такая функция зарегистрирована вызовом Button_Register_Callback() с параметром Button_Pushed_Callback.

Кроме того, нажатие кнопки всегда будет предшествовать событию «удержание» («долгое удержание») и «щелчок», пожтому по нажатию кнопки одновременно запускаются таймеры T3 и T4. Если в момент нажатия кнопки таймер T3 был не активен (установлен флаг F3 срабатывания таймера T3), то данное нажатие заведомо не является

продолжением серии быстрых щелчков и счетчик щелчков ClickCnt очищается. Для таймера T4 устанавливается интервал H1, соответствующий событию «удержание».

Следствием отпускания кнопки может быть очередной щелчок. После отпускания кнопки останавливается таймер T4, так как событие «удержание» теперь исключается. Если кнопка была отпущена достаточно быстро с момента нажатия и выдержка таймера T3 еще не истекла (флаг F3 не установлен), то фиксируется очередной щелчок кнопки и счетчик щелчков в серии быстрых щелчков ClickCnt инкрементируется. Если при этом значение счетчика быстрых щелчков достигло порога события «паника», то выполняется обратный вызов соответствующей пользовательской функции (если зарегистрирована функция типа Button_Panic_Callback).

После отпускания кнопки, если еще не было срабатывания таймера T4, снова запускается таймер T3, который теперь измерят время нахождения кнопки в отпущенном состоянии. После истечения выдержки таймера T3 фиксируется окончание серии быстрых щелчков и в функции обработки событий таймера T3 (см. рис. 4) происходит проверка событий «чистый щелчок» и «двойной щелчок» с обратным вызовом пользовательских функций типа Button_Click_Callback или Button_Double_Click_Callback, если они были зарегистрированы.

Если же к моменту отпускания кнопки таймер T4 уже сработал, то серия быстрых щелчков заведомо прервана удержанием кнопки и дополнительная выдержка таймера T3 не требуется.

При срабатывании таймера T4 проверяется флаг F4 (см. рис. 4). Если этот флаг не установлен, то это первое срабатывание таймера T4 после нажатия кнопки и фиксируется событие «удержание». Затем таймер T4 перезапускается с выдержкой, соответствующей событию «долгое удержание» (отсчитывается от момента нажатия кнопки, не от текущего момента времени!). Если таймер T4 отработает и эту выдержку (о чем будет говорить установленный флаг F4), то фиксируется событие «долгое удержание». Больше никаких событий до отпускания кнопки произойти не может. Все таймеры остановлены, драйвер ждет отпускания кнопки для возврата в исходное состояние.

4. Детали реализации

В соответствии с принципами управления памятью в системе FreeRTOS в драйвере поддерживается работа со статическим и динамическим выделением памяти. Для статического выделения памяти пользователь должен определить статическую переменную, представляющую собой экземпляр структуры ButtonStatic_t, которая по своему размеру, а также по числу, порядку расположения и

выравниванию полей полностью соответствующей внутренней структуре драйвера Button, но имена полей и по возможности типы данных в структуре ButtonStatic_t скрыты (обфусцированы). Обфускация кода промена в соответствии с общепринятыми подходами к программированию, чтобы не провоцировать пользователя на прямое использование внутренних данных драйвера, т. к. это может приводить к ошибкам, например, к неопределенности выполнения. Полностью скрыть от пользователя представление внутренних данных драйвера не представляется возможным при использовании статического выделения памяти, так как необходимую для драйвера память должна зарезервировать пользовательская программа, а фактический размер структуры данных в языке программирования С зависит от особенностей компилятора, аппаратной платформы и выравнивания полей внутри структуры. Поэтому компилятор в пользовательской программе доложен «видеть» реальное определение структуры.

При использовании статического выделения памяти данные драйвера фактически располагаются в пользовательской статической структуре. Инициализация данных драйвера выполняется вызовом функции Button_Init(), определение которой показано в листинге 7.

Листинг 7

```
#if ( configSUPPORT_STATIC_ALLOCATION == 1 )
  ButtonHandle_t Button_Init(
    Button_check_pushed_routine_t check_pushed_routine,
    ButtonStatic_t* button);
#endif
```

Функция Button_Init() всегда завершается успешно и возвращает адрес переменной button, приведенный к типу ButtonHandle_t.

Параметр check_pushed_routine представляет собой указатель на функцию проверки физического состояния кнопки, как уже было описано в разделе 1.

При использовании динамического выделения памяти, выделение памяти и инициализация внутренней структуры драйвера производится вызовом функции Button_Create(), см. листинг 8.

Листинг 8

```
#if( configSUPPORT_DYNAMIC_ALLOCATION == 1 )
  ButtonHandle_t Button_Create(
    Button_check_pushed_routine_t check_pushed_routine);
#endif
```

Память внутри функции Button_Create() выделяется вызовом pvPortMalloc(). При невозможности выделения памяти функция Button_Create() возвращает NULL. Также в Button_Create()

используются вызовы xTimerCreate(), которые могут щавершиться с ошибкой. В этом случае функция Button_Create() также возвращает NULL. При успешном выделении памяти и создании всех таймеров, функция Button_Create() возвращает адрес выделенной внутренней структуры Button, приведенный к типу ButtonHandle_t.

Реализация драйвера зависит от программных таймеров FreeRTOS, поэтому для использования драйвера необходимо наличие определения configUSE_TIMERS = 1 в файле FreeRTOSConfig.h.

Для использования драйвера в реальной программе требуется зарегистрировать как минимум одну функцию обратного вызова для получения уведомлений от драйвера о действиях с кнопкой. Пользователю необходимо учитывать, что функции обратного вызова выполняются в контексте системной задачи таймера (timer daemon), поэтому они не должны блокироваться или устанавливать ненулевое время ожидания при доступе к очередям или семафорам.

Для исключения неопределенности выполнения (гонки) при вызове драйвером пользовательской функции обратного вызова, адрес функции и ее аргумент копируются в локальные переменные в режиме взаимного исключения с функцией Button_Register_Callback(). Затем эти локальные переменные используются для проверки регистрация функции и ее вызова, если адрес функции не NULL, как показано в листинге 9. Для предотвращения переключения контекста задачи во время выполнения критических операций, планировщик FreeRTOS() временно отключается вызовом функции vTaskSuspendAll() [8].

Листинг 9

```
static void callback(struct Button* context,
                     Button_Callback_Id callback_id)
{
  vTaskSuspendAll();

  Button_callback_routine_t callback_routine =
      context->callbacks[callback_id].callback_routine;
  void* callback_argument =
      context->callbacks[callback_id].callback_argument;

  xTaskResumeAll();

  if (callback_routine)
  {
    callback_routine(callback_argument);
  }
}
```

Таймауты, используемые для классификации действий с кнопкой, могут быть переопределены пользователем с использованием функции

драйвера Button_Set_timeouts(). Все таймауты устанавливается одной функцией, т. к. для нормальной работы драйвера порядок срабатывания его таймеров имеет принципиальное значение, и требуется выполнение условия long_hold_timeout_ms > hold_timeout_ms > click_timeout_ms > release_timeout_ms. Исходный код функции Button_Set_timeouts() показан в листинге 10.

Листинг 10

```
bool Button_Set_timeouts(ButtonHandle_t button,
                         uint8_t release_timeout_ms,
                         uint8_t click_timeout_ms,
                         uint16_t hold_timeout_ms,
                         uint16_t long_hold_timeout_ms)
{
  if (click_timeout_ms > release_timeout_ms &&
      hold_timeout_ms > click_timeout_ms &&
      long_hold_timeout_ms > hold_timeout_ms)
  {
    struct Button* context = (struct Button*)button;

    // it is necessary in order from bigger to smaller value
    context->long_hold_timeout_remain = (long_hold_timeout_ms
-
        hold_timeout_ms) * configTICK_RATE_HZ / 1000 /* ms */;
    context->hold_timeout = hold_timeout_ms *
configTICK_RATE_HZ / 1000 /* ms */;
    context->click_timeout = click_timeout_ms *
configTICK_RATE_HZ / 1000 /* ms */;
    context->release_timeout = release_timeout_ms *
configTICK_RATE_HZ / 1000 /* ms */;

    return true;
  }

  return false;
}
```

В реализации функции Button_Set_timeouts() значения таймаутов копируются из аргументов функции во внутреннюю структуру драйвера в порядке от большего значения к меньшему. Это гарантирует сохранение порядка работы таймеров, даже если переключение контекста задачи произойдет внутри функции Button_Set_timeouts() и один или более циклов работы драйвера выполнятся с частью новых и частью старых таймаутов.

Заключение

Предложенный драйвер нажимной кнопки для операционной системы FreeRTOS позволяет упростить реализацию человеко-

машинного интерфейса в устройствах на основе микроконтроллера и реализовать даже сложные функции управления с использованием минимального количества интерфейсных устройств.

Список литературы

1. ГОСТ IEC 60947-5-1-2014. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 5-1. Аппараты и коммутационные элементы цепей управления. Электромеханические устройства цепей управления. – Введ. 01.01.2016. [Электронный ресурс] : Сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. – Режим доступа : https://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&month=-1&year=-1&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=179915
2. Страница отладочной платы STM32F401C-DISCO на официальном сайте компании STMicroelectronics в сети Интернет [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.st.com/en/evaluation-tools/32f401cdiscovery.html
3. Описание HAL и низкоуровневых драйверов для микроконтроллеров семейства STM32F4 на официальном сайте компании STMicroelectronics в сети Интернет [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.st.com/resource/en/user_manual/um1725-description-of-stm32f4-hal-and-lowlayer-drivers-stmicroelectronics.pdf
4. Страница отладочной платы LAUNCHXL-CC1310 на официальном сайте компании Texas Instruments в сети Интернет [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.ti.com/tool/LAUNCHXL-CC1310?keyMatch=LAUNCHXL-CC1310&tisearch=universal_search&usecase=hardware
5. Документация TI-RTOS Drivers на официальном сайте компании Texas Instruments в сети Интернет [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://software-dl.ti.com/dsps/dsps_public_sw/sdo_sb/targetcontent/tirtos/2_20_00_06/exports/tirtos_full_2_20_00_06/products/tidrivers_full_2_20_00_08/docs/doxygen/html/index.html
6. Barkan, P. A study of the contact bounce phenomenon / P. Barkan // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1967. – Vol. 2. – pp. 231-240.
7. Ganssle, J. G. A Guide to Debouncing / J. G. Ganssle. – Baltimore: Ganssle Group, 2004. – p. 22.
8. Richard Barry. Mastering the FreeRTOS™ Real Time Kernel [Электронный ресурс] : A Hands-On Tutorial Guide / Richard Barry and The FreeRTOS Team. – Версия 1.1.0. – Режим доступа : https://github.com/FreeRTOS/FreeRTOS-Kernel-Book/releases/download/V1.1.0/Mastering-the-FreeRTOS-Real-Time-Kernel.v1.1.0.pdf

Реализация настольного приложения для формирования документов

К. С. Скоморохов, email: kiruxa.37v@gmail.com
М. В. Матвеева, email: marie.matveeva@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе рассматривается проектирование настольного приложения, которое позволяет формировать документы на основе информации из предоставляемой базы данных. В статье приводится общая архитектура приложения, структура и его интерфейс.*

Ключевые слова: *Программирование, настольное приложение, разработка, формирование документов, .Net, C#, Word, Excel, DataBase, Avalonia, MVVM.*

Введение

В современном мире, организация мероприятий в образовательной, корпоративной или общественной сферах, представляет собой сложный, многоаспектный процесс, сопряженный с рядом организационных и технических трудностей. Эффективное проведение таких событий требует не только тщательного планирования и координации действий многочисленных участников, но и оперативного управления обширным документооборотом. Создание наградных материалов, оформление благодарственных писем, сертификатов участия, а также ведение разнообразной отчетной документации, представляют собой трудоемкие задачи, неэффективное решение которых может привести к значительным временным затратам, ошибкам, а также снижению общего качества проводимого мероприятия.

В частности, традиционные методы создания документов, такие как ручное заполнение шаблонов и перенос данных из различных источников, обладают рядом существенных недостатков. Эти методы характеризуются низкой производительностью, высокой вероятностью человеческих ошибок и большими временными затратами, что особенно критично в условиях ограниченных ресурсов и сжатых сроков подготовки мероприятий. Кроме того, использование разрозненных инструментов и форматов для управления данными и создания документов усложняет процесс, приводит к несогласованности информации и повышает риск возникновения ошибок.

© Скоморохов К. С., Матвеева М. В., 2025

В связи с этим, актуальной задачей является разработка специализированного решения, направленного на автоматизацию процессов управления данными и создания документов для мероприятий.

1. Анализ существующих решений

Наиболее популярные настольные приложения, которые по своей функциональности близки к решению задачи о формировании документов это: Microsoft Word функция «Слияние», Canva, Microsoft Publisher, Adobe InDesign.

Почти все приложения предоставляют возможность формирования, создания и редактирования документов, но у каждого есть недостатки, такие как отсутствие возможности работы с базой данных или невозможность создания своего собственного варианта макета для создания документа, создание только файлов типа Word, платное использование, отсутствие возможности сохранить созданный макет и т.п. Плюсы и минусы каждого близкого по функциональности решения приведены в табл. 1.

Отталкиваясь от вышеизложенного, появляется необходимость создания такого настольного приложения, которое бы учитывало все недочеты существующих решений и включало в себя их достоинства.

Таблица 1

Плюсы и минусы существующих приложений

Критерий сравнения	Adobe InDesign	Microsoft Publisher	Canva	Microsoft Word
Работа с базами данных	+	–	–	+
Множество сохраненных шаблонов	+	–	+	–
Бесплатное использование	–	+	+	+
Возможность изменения макетов	+	–	–	+
Создание документов Excel	–	–	–	+

2. Требования к настольному приложению

Требования к приложению для формирования документов на мероприятиях:

– редактирование шаблонов с использованием встроенного редактора с возможностью добавления/редактирования текстовых полей, таблиц, изображений и других элементов;
– создание новых шаблонов, используя встроенные инструменты;
– возможность сохранения шаблонов для повторного использования;
– современный, интуитивно понятный и лаконичный интерфейс;
– возможность подключения к базам данных;
– возможность сохранения созданных документов в форматах: docx, xlsx, pdf;
– работа на разных ОС (Windows, Linux, macOS).

3. Модель данных

Для хранения созданных пользователем макетов для формирования документов была разработана база данных. На рис. 1 отображена логическая ER-модель данных с помощью унифицированного языка моделирования UML [1]. Краткое описание основных таблиц приведено в табл. 2.

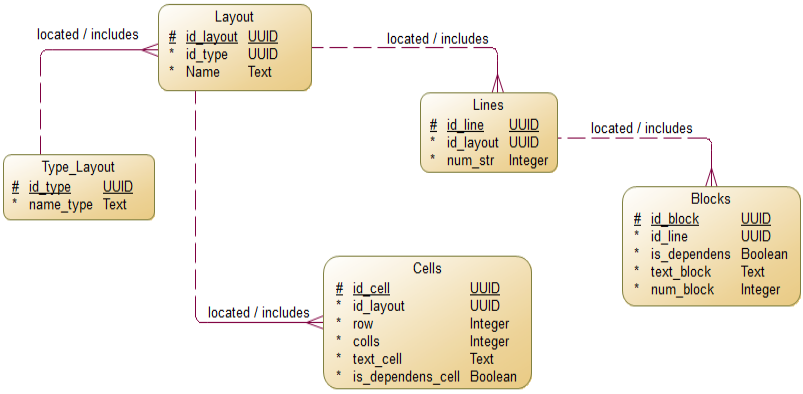


Рис. 1. Логическая ER-диаграмма данных хранения макетов документов

Таблица 2

Описание таблиц базы данных

Название таблицы	Описание
Layout	Хранит название сохраненного макета.
Type_Layout	Тип сохраненного макета (Word, Excel, PDF)
Lines	Хранит информацию о каждой строке в макете, а также ее порядковом номере в макете.
Cells	Хранит номер ячейки (для файлов Excel)
Blocks	Хранит блоки и их порядковые номера, которые находятся в строках макетов

4. Структура настольного приложения

В ходе реализации проекта был использован язык программирования C# и фреймворк Avalonia [2], который обеспечивает применение современных технологий асинхронного и многопоточного программирования [3]. Архитектура приложения была спроектирована на основе паттерна MVVM (Model-View-ViewModel) [4], который способствуют разделению ответственности между слоями приложения. Решение представляет собой модульную систему, построенную на основе архитектуры, разделенной на три основных проекта: DocumentGenerator.Core, DocumentGenerator.Data и DocumentGenerator.UI. Структуру можно увидеть на рис. 2.

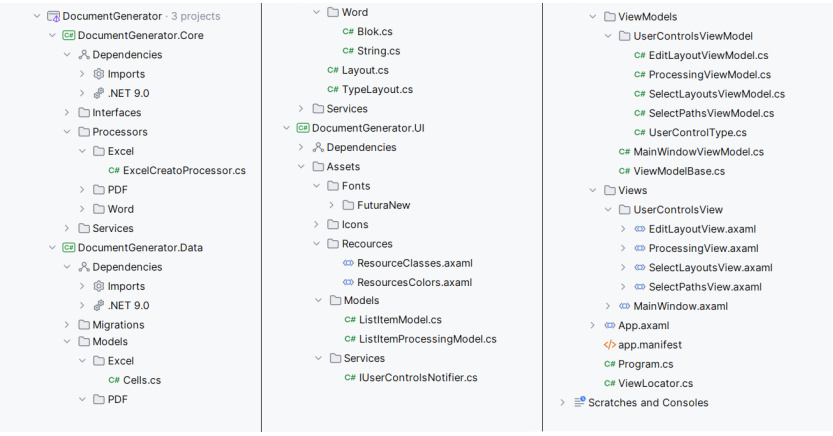


Рис. 2. Структура настольного приложения по формированию документов

Проект DocumentGenerator.Core, который является ядром приложения и отвечает за создание документов и работу с полученными данными.

Проект DocumentGenerator.Data отвечает за работу с базой данных, которая хранит созданные пользователем макеты.

Проект DocumentGenerator.UI отвечает за представление данных и взаимодействие с пользователем, реализуя пользовательский интерфейс приложения через ViewModel и их представления View.

Входными данными для приложения являются структурированные данные, извлекаемые из баз данных или электронных таблиц (например Excel, SQL Lite), а также пользовательские макеты документов (Word, Excel), которые могут быть созданы и сохранены в приложении. Выходными данными являются сгенерированные файлы документов в форматах docx, xlsx и pdf, созданные на основе предоставленных данных по макетам, которые сохраняются в указанную папку. Пример работы данного приложения на мероприятии «Робоарт 2024» на рис. 3. Из одной базы данных были сформированы файлы по 10 различным макетам.

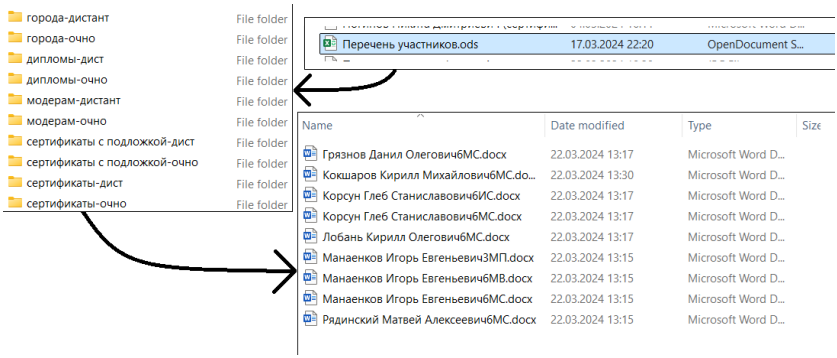


Рис. 3. Итог работы приложения на мероприятии «Робоарт 2024».

5. Классы приложения

На рис. 4 представлена часть диаграммы классов настольного приложения для формирования документов. Архитектура приложения построена на основе паттерна MVVM, что отражено в структуре диаграммы.

Класс App является точкой входа приложения, инициируя его работу и создавая главное окно MainWindow с контекстом MainViewModel.

MainViewModel и SelectPathViewModel – классы, производные от ViewModelBase, реализующие слой ViewModel паттерна MVVM. Они обеспечивают передачу данных в представления (Views) и взаимодействие с основными сервисами приложения [5].

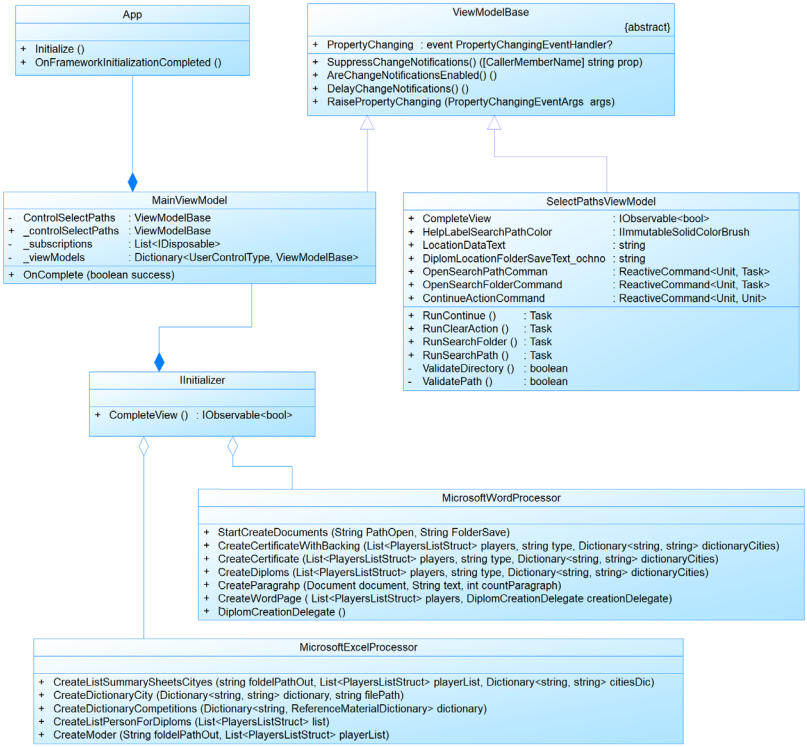


Рис. 4. Часть диаграммы классов настольного приложения формирования документов.

Главное окно приложения управляет отображением других окон, изменяя их в зависимости от действий пользователя посредством свойства _viewModels. Взаимодействие между ViewModel и Views, а также обработка пользовательских действий, реализуется через механизм Rx.Net. После заполнения всех необходимых полей и выбора шаблона, приложение запускает процесс генерации документов посредством события CompleteView(). Данное событие, через интерфейс IInitializer, инициирует создание документов с заданными данными, используя классы семейства Processors.

6. Интерфейс пользователя

Интерфейс настольного-приложения должен быть интуитивно понятным и должен обеспечивать необходимую функциональность. Он будет состоять из одного окна, в котором при работе приложения будут меняться формы и объекты.

На рис. 5 представлено главное окно, в котором пользователь будет начинать работу с приложением.

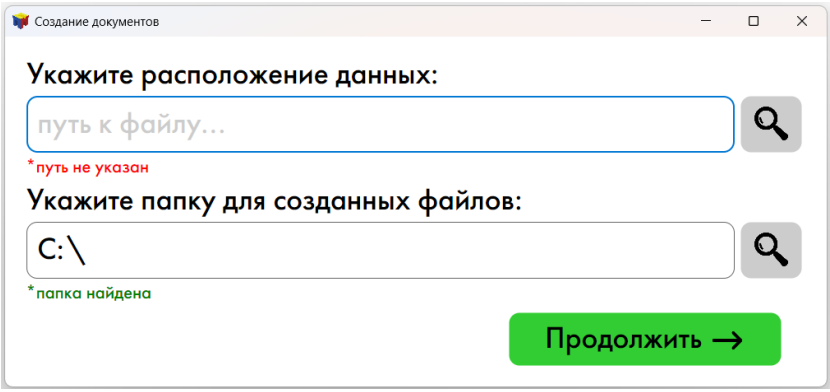


Рис. 5. Первое окно приложения, с которого начинает работать пользователь.

Заключение

В результате проведенной работы было разработано настольное приложение, предназначенного для автоматизации процесса создания документации. В ходе разработки были проанализированы существующие решения и выявлены их ключевые ограничения, в частности, отсутствие гибкости в настройке шаблонов документов, ограниченная поддержка форматов вывода, зависимость от конкретных типов баз данных и на основе проведенного анализа было разработано приложение.

Приложение было использовано в ходе мероприятия «Робоарт 2024», по итогам которого были получены сертификат, благодарность, а также акт о внедрении в компанию АНО ДО «Экспериментальная техническая школа».

Список литературы

1. Фаулер, М. UML. Основы: краткое руководство по стандартному языку объектного моделирования / М. Фаулер. – СПб.: Изд-во «Символ Плюс», 2005. – 192 с.

2. Клири, С. Конкурентность в C#. Асинхронное, параллельное и многопоточное программирование / С. Клири. – СПб.: Питер, 2020. – 272 с.

3. Девис, А. Асинхронное программирование в C# 5.0 / А. Девис. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 120 с.

4. Сазанавец, Ф. C# 11 и NET 7: Создание кроссплатформенного приложения на базе .NET 7 / Ф. Сазанавец. – СПб.: БХВ-Петербург, 2024. – 288 с.

5. Прайс, М. C# 9 и .NET 5. Разработка и оптимизация / М. Прайс. – СПб.: Питер, 2022. – 832 с.

Разработка серверной части веб-приложения организатора встреч

Д. А. Флегель: dmitrii.flegel@yandex.ru
М. С. Ефремов: mefremov@relex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной работе рассматривается проектирование веб-приложения организатора встреч, а также реализация серверной части данного приложения на языке программирования C#. Описан выбор ключевых технологий, включая платформу ASP.NET Core и СУБД PostgreSQL, обоснована архитектура приложения, сочетающая элементы монолитной и микросервисной структур. Рассмотрены подходы к управлению данными с использованием Entity Framework Core, а также реализация основных сервисов и контроллеров для взаимодействия с клиентской частью. Особое внимание уделено вопросам масштабируемости, безопасности и удобства разработки.*

Ключевые слова: *веб-приложение, язык C#, платформа .NET, backend-разработка, серверная часть приложения, проектирование веб-приложения.*

Введение

Современные технологии позволяют значительно упростить процесс организации встреч и мероприятий, предоставляя пользователям удобные инструменты для взаимодействия. Однако, на российском рынке онлайн-сервисов для организации встреч наблюдается практически полное отсутствие качественных русскоязычных аналогов, способных предложить комплексное решение. Это создает потребность в разработке нового веб-приложения, которое бы соответствовало требованиям локальных пользователей и обеспечивало интуитивно понятный интерфейс и широкий функционал.

Целью данного исследования является проектирование и разработка серверной части приложения для организации встреч, которая обеспечит надежную и безопасную работу платформы. Задачи, поставленные в рамках работы, включают анализ существующих решений, выбор технологий, проектирование структуры программы, разработку модели базы данных и реализацию ключевых функций, таких как регистрация пользователей, создание встреч, управление

© Флегель Д. А., Ефремов М. С., 2025

участниками, публикация контента, а также оповещение участников по электронной почте.

Данное веб-приложение будет включать систему аутентификации пользователей с использованием электронной почты и пароля, а также разграничение ролей пользователей (участник, модератор, администратор), что обеспечит гибкость и безопасность в управлении контентом. Таким образом, разработка этого сервиса позволит удовлетворить актуальные потребности пользователей и устранить недостаток качественных русскоязычных платформ для организации встреч.

1. Анализ существующих решений

1. Eventbrite – одна из ведущих мировых платформ для создания и управления событиями [1]. Сервис предоставляет широкий спектр инструментов для организаторов мероприятий, включая управление билетами, маркетинговые и аналитические функции. Организаторы могут создавать события с подробным описанием, включая дату, время, место проведения и изображения. Также есть возможность настройки различных типов билетов и интеграция с системами оплаты.

2. Meetup – это платформа, предназначенная для организации и посещения встреч по интересам [2]. Платформа популярна среди людей, желающих найти единомышленников и участвовать в различных мероприятиях, от профессиональных встреч, до хобби-групп. Пользователи могут создавать группы по интересам и организовывать в них встречи. Описание группы включает информацию о целях, участниках и предстоящих событиях. Также пользователи могут публиковать фотоотчеты о прошедших встречах, оставлять комментарии и отзывы.

3. ВКонтакте – крупнейшая социальная сеть в России, предлагающая широкий спектр функций, включая возможность создания и управления мероприятиями [3]. Платформа предоставляет инструменты для организации событий и взаимодействия с аудиторией. Пользователи могут создавать мероприятия с подробным описанием, включая название, дату, время, место проведения и изображения. Мероприятия могут быть как открытыми для всех пользователей, так и закрытыми, доступными только по приглашению. Основной особенностью ВКонтакте является то, что это полноценная социальная сеть с обширной базой данных.

2. Сравнение решений

При рассмотрении нескольких факторов, влияющих на качество и удобство использования приложения, возникает необходимость их структуризации для более эффективного сравнения.

В таблице приведены итоговые результаты анализа существующих решений на соответствие выделенным критериям.

Таблица

Сравнение существующих решений

Название	**Eventbrite**	**Meetup**	**ВКонтакте**
Создание событий	+	+	+
Продажа билетов	+	–	–
Маркетинг и продвижение	+	–	+
Управление участниками	+	+	+
Аналитика и отчеты	+	–	–
Коммуникация	–	+	+
Фотоотчеты и обсуждения	–	+	+

На основе приведенного анализа выделена необходимая для реализации функциональность приложения:

- авторизация пользователя;
- поиск встреч по заданным фильтрам;
- просмотр информации о встрече;
- возможность оставлять комментарии к встречам;
- возможность изменять личные данные;
- возможность ставить лайки понравившимся встречам;
- просмотр глобального списка встреч;
- возможность публиковать фотоотчет о встрече.

3. Средства для реализации

Для разработки серверной части приложения были выбраны современные и проверенные технологии. Основной средой разработки стала Visual Studio 2022, язык программирования – C# с платформой .NET [4]. Выбор C# и .NET обусловлен их мощными возможностями для создания серверных приложений, включая строгую типизацию, высокую производительность и обширную экосистему библиотек, что позволяет эффективно реализовывать сложные бизнес-логики и интеграцию с различными сервисами.

В качестве основной СУБД была выбрана PostgreSQL, которая обеспечивает надежное хранение данных, поддержку сложных запросов и масштабирование [5]. Это делает её идеальным решением для работы с большим объемом данных в приложении, требующим высокой производительности и надежности.

Дополнительно использовались такие инструменты, как StarUML для моделирования бизнес-процессов, Redis для кэширования, RabbitMQ для обработки асинхронных задач и Git для контроля версий. Эти средства дополняют друг друга, обеспечивая эффективную разработку и поддержку приложения.

4. Архитектура

Для разработки приложения «Организатор встреч» была выбрана комбинированная архитектура, сочетающая элементы монолитной и микросервисной архитектур. Такой подход позволяет найти баланс между простотой разработки и возможностью масштабирования отдельных компонентов системы. Основные идеи были заимствованы из работы Роберта Мартина, что подчеркивает актуальность выбранного подхода [6].

Монолитная архитектура стала основой для реализации основной бизнес-логики приложения. Весь код размещен в одном репозитории, что упрощает управление зависимостями, конфигурацией и процессом развертывания. Монолитная часть отвечает за работу с пользователями, встречами, комментариями и другими сущностями, что обеспечивает целостность данных и упрощенное управление транзакциями.

Для решения специфических задач были выделены микросервисы:

1. Микросервис аутентификации. Отвечает за генерацию JWT-токенов для аутентификации пользователей. Выделение этой функции в отдельный сервис позволяет обеспечить безопасность и масштабируемость.
2. Микросервис обработки асинхронных задач. Использует RabbitMQ для обработки задач, не требующих немедленного выполнения, таких как отправка электронных писем. Это разгружает основное приложение и улучшает отклик системы.

Взаимодействие между монолитной частью и микросервисами осуществляется через REST API, что обеспечивает стандартизированный обмен данными и упрощает интеграцию компонентов. Безопасность взаимодействий поддерживается с использованием JWT-токенов, что гарантирует доступ только авторизованным компонентам.

Выбор ASP.NET Core в качестве основного фреймворка обусловлен его высокой производительностью, кроссплатформенностью и

поддержкой современных стандартов веб-разработки. ASP.NET Core позволяет создавать масштабируемые и надежные веб-приложения, что делает его идеальным для реализации «Организатора встреч».

Таким образом, выбранная архитектура сочетает в себе простоту и целостность монолитного подхода с гибкостью микросервисов, обеспечивая надежность, производительность и удобство разработки.

5. Доступ и хранение данных

Для хранения данных в веб-приложении «Организатор встреч» была выбрана реляционная СУБД PostgreSQL. Этот выбор обусловлен её высокой производительностью, надежностью и поддержкой транзакций, что делает её идеальным решением для современных веб-приложений. PostgreSQL также обладает обширной документацией и легко интегрируется с ASP.NET Core благодаря готовым библиотекам.

Для взаимодействия с базой данных используется Entity Framework Core (EF Core) – объектно-реляционная технология (ORM) от Microsoft. EF Core предоставляет абстракцию над базой данных, позволяя разработчикам работать с данными как с объектами классов. Это упрощает написание и поддержку кода, делая его более читаемым и понятным.

В проекте используется контекст базы данных MeetingOrganizerDbContext, который управляет доступом к таблицам для основных сущностей приложения, таких как встречи, комментарии и участники. Данный класс представлен в листинге 1.

Листинг 1

```
public class MeetingOrganizerDbContext :
IdentityDbContext<User, IdentityRole<Guid>, Guid>
{
    public DbSet<Comment> Comments { get; set; }
    public DbSet<Meeting> Meetings { get; set; }
    public DbSet<Participant> Participants { get; set; }
    public
MeetingOrganizerDbContext(DbContextOptions<MeetingOrganizerDbC
ontext> options) : base(options) { }
    protected override void OnModelCreating(ModelBuilder
modelBuilder)
    {
        base.OnModelCreating(modelBuilder);
        // Конфигурация сущностей
    }
}
```

Модели для сущности Meeting представлена в листинге 2.

Листинг 2

```
public class Meeting
{
    public Guid Uid { get; set; }
    public string Title { get; set; }
    public DateTime Date { get; set; }
    public ICollection<Participant> Participants { get; set; }
}
```

Для выполнения операций с данными используется фабрика контекстов IDbContextFactory, что позволяет создавать экземпляры контекста по мере необходимости и эффективно управлять ресурсами. Пример использования данного класса представлен в листинге 3.

Листинг 3

```
private readonly IDbContextFactory<MeetingOrganizerDbContext>
_dbContextFactory;
public async Task<IEnumerable<MeetingModel>> GetAll(int offset
= 0, int limit = 10)
{
    using var context = await
_dbContextFactory.CreateDbContextAsync();
    var meetings = context.Meetings.Skip(offset).Take(limit);
    return await meetings.ToListAsync();
}
```

Использование PostgreSQL в сочетании с EF Core обеспечивает гибкость, удобство работы с данными и позволяет сосредоточиться на бизнес-логике приложения, минимизируя сложности работы с базой данных.

6. Серверная часть приложения

Основная логика работы приложения реализована в сервисах, которые взаимодействуют с базой данных через контекст. Сервисы выполняют такие операции, как получение, добавление, изменение и удаление данных.

Для работы с сервисами используются контроллеры, помеченные атрибутом [ApiController]. Контроллеры обрабатывают запросы пользователей и возвращают ответы, которые передаются клиентской части приложения. Методы контроллеров имеют атрибуты, такие как [HttpPost] или [HttpGet], определяющие тип запроса и маршрут.

В приложении используются следующие контроллеры:

- CommentLikeController
- CommentController
- MeetingLikeController
- MeetingController

– ParticipantController
– PhotoController
– AccountsController

Эти контроллеры обрабатывают запросы на добавление, редактирование, получение и удаление данных, обеспечивая взаимодействие между клиентской и серверной частями приложения.

Заключение

В данной статье представлено проектирование и реализация серверной части веб-приложения «Организатор встреч». Рассмотрены ключевые этапы разработки, включая выбор технологий ASP.NET Core и PostgreSQL, обоснование архитектуры с элементами монолитной и микросервисной структур, а также использование Entity Framework Core для управления данными. Описаны основные сервисы и контроллеры, обеспечивающие функциональность приложения, такие как регистрация пользователей, создание встреч, управление участниками и публикация контента. В результате выполненной работы создана надежная и масштабируемая серверная часть, способная удовлетворить потребности пользователей в эффективной организации встреч и мероприятий.

Список литературы

1. Сайт для организации событий Eventbrite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eventbrite.com
2. Сайт для организации событий Meetup [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.meetup.com
3. Раздел сайта ВКонтакте для мероприятий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/groups?act=events
4. .NET документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet
5. PostgreSQL документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.postgresql.org/docs
6. Мартин, Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения / Р. Мартин. – Москва : Питер, 2020. – 432 с.

Проектирование приложения для изучения иностранных языков

Ю. А. Фролов, email: yuriifrolov39@gmail.com
М. В. Матвеева, email: marie.matveeva@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе рассматривается проектирование веб-приложения-словаря, которое предоставляет возможность изучения иностранных языков. В статье приводится общая архитектура приложения, структура приложения, модель базы данных и средства реализации.*

Ключевые слова: *веб-приложение, словарь, переводчик, иностранные языки, приложение-словарь, приложение для изучения иностранных языков.*

Введение

В современном мире знание иностранных языков является не просто преимуществом, а необходимостью. Изучение иностранных языков включено в учебные планы практически всех образовательных учреждений, что создаёт необходимость в инструментах, способных обеспечить самопроверку приобретённых знаний и помощь в освоении новой лексики. Одним из эффективных инструментов для изучения иностранных языков являются специализированные приложения. Они позволяют пользователям изучать язык в удобное время и месте, предоставляя интерактивные задания, тесты и упражнения. Несмотря на обилие существующих приложений, актуальность приобретает разработка ресурса, сочетающего в себе широкие возможности для изучения различных языков и функциональность, позволяющую пользователям создавать собственные словари, способствующие эффективному изучению новой лексики.

1. Анализ существующих приложений

Был проведен анализ популярных веб-приложений для изучения иностранных языков: Duolingo, Quizziz, Lingualeo и Memrise.

Duolingo предоставляет следующую функциональность: выбор разных языков для изучения, проверку уровня знания языка, выбор количества уделяемого ежедневно времени для изучения и возможность проходить разнообразные тесты. Недостатками является то, что ресурс

© Фролов Ю. А., Матвеева М. В., 2025

не сохраняет прогресс тестирования при выходе, и отсутствие возможности добавить собственный словарь слов [1].

Quizziz сервис имеет набор базовую функциональность такую как: выбор разных языков для изучения, выбор курса для изучения, выбор урока и возможность проходить тесты. Недостатками являются: сложный поиск входа от имени ученика и ответы на вопросы теста показываются не сразу [2].

Lingualeo сервис предоставляет выбор родного и изучаемых языков, изучение иностранного языка по темам и уровню знаний, также можно выбрать цель изучения языка и начать проходить разнообразные тесты. Приложение предоставляет возможность создать собственный словарь. Недостатком является то, что у пользователя нет возможность самостоятельно выбрать начальную тему для изучения [3].

Memrise предоставляет выбор родного и изучаемых языков, изучение иностранного языка по темам и уровню знаний, также существует возможность смотреть видеоматериалы на изучаемом языке и вести диалог с искусственным интеллектом по смоделированной ситуации. Приложение предоставляет возможность создать собственный словарь. Недостатком является отсутствие тестов для проверки знаний [4].

Также Duolingo и Quizziz не предоставляют пользователю возможности создать собственный словарь.

В табл. 1 представлены результаты сравнения функциональности разрабатываемого приложения и существующих аналогов.

Таблица 1

Анализ существующих приложений

Название	Интуитивно-понятный интерфейс	Фильтрация курсов	Проверка усвоения материала (тесты)
Duolingo	+	-	+
Quizziz	-	+	+
Lingualeo	+	-	+
Memrise	+	+	-

Исходя из анализа, приведенных существующих решений, можно заметить, что каждый из приведенных примеров имеет хотя бы один минус.

На основании анализа были определены необходимые функциональные возможности разрабатываемого приложения.

2. Требования к веб-приложению

Анализ существующих решений показал, что разрабатываемое приложение должно предоставлять конечному пользователю функциональность, позволяющую осуществить:

1. создание словарей;
2. внесение изменений в словари;
3. удаление словарей;
4. внесение изменений в аккаунт;
5. создание аккаунта;
6. удаление аккаунта;
7. прохождение тестов:
   - тест «Слово-перевод»;
   - тест «Перевод-слово»;
   - тест «Соединить слово и перевод»;
   - тест «Собрать слово из букв».

Тест «Слово-перевод» – предоставляет пользователю слово на изучаемом языке и возможность ввести перевод.

Тест «Перевод-слово» – предоставляет пользователю перевод слова и возможность ввести слово на изучаемом языке.

Тест «Соединить слово и перевод» – предоставляет пользователю набор слов на изучаемом языке и возможность соединять их с одним из предложенных переводов.

Тест «Собрать слово из букв» – предоставляет пользователю набор букв, из которых состоит слово, и возможность ввести слово-ответ.

3. Логическая модель базы данных

Логическая модель базы данных была спроектирована с помощью программы PowerDesigner [5].

В данной логической модели базы данных использовались следующие домены:

1. Text;
2. Long integer;
3. Char;
4. UUID.

Логическая модель на уровне сущностей представлена на рис. 1.

Сущность «Языки» хранит информацию о языках: название, а также код языка (код).

Сущность «Слова» содержит информацию о словах: слово, код_языка (код_языка) и id.

Сущность «Переводы» содержит информацию о переводе слова: идентификатор слова (id_слова), идентификатор перевода слова (id_перевода_слова) и id.

Сущность «Профили» хранит информацию о пользователях: пароль, фамилия, имя, отчество, email, id.

Сущность «Словари» содержит информацию о словарях: код языка (код_языка), код языка перевода (код_языка_перевода), идентификатор пользователя (id_профиля) и id.

Сущность «Словари-переводы» реализует связь многие ко многим между таблицами «Словари» и «Переводы» и состоит из двух внешних ключей: id_перевода и id_словаря.

Замечание: все атрибуты, имеющие имя «id», являются суррогатными ключами.

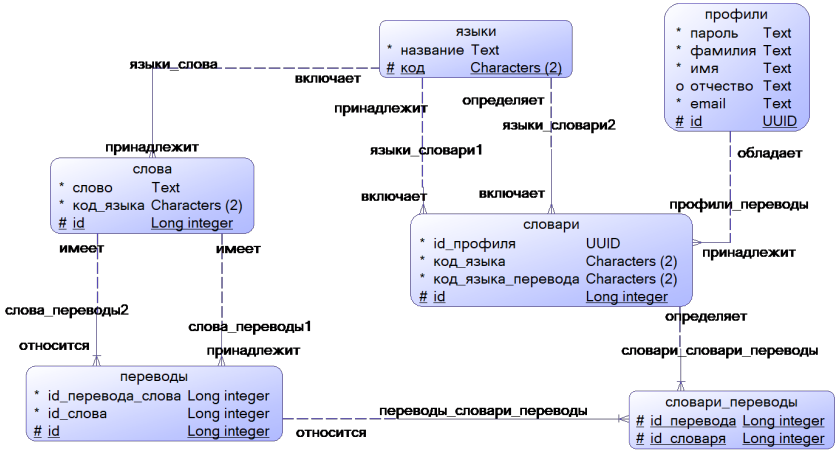


Рис. 1. Логическая модель базы данных

4. Средства реализации

Поставленная задача будет реализована с использованием следующих средств:

- СУБД PostgreSQL [6];
- язык разработки Java [7];
- ПО Docker для контейнеризации;
- фреймворк Spring Boot [8, 9];
- библиотека Liquibase для работы с БД;
- библиотека Lombok для расширения функциональности;
- фреймворк OpenAPI для описания REST API.

В качестве среды разработки была выбрана среда разработки IntelliJ IDEA 2024.1, так как она обладает множеством полезных функций, упрощающих написание кода.

5. Архитектура приложения

Для проектирования был использован язык графического описания UML. На рис. 2. представлена архитектура приложения-словаря [10].

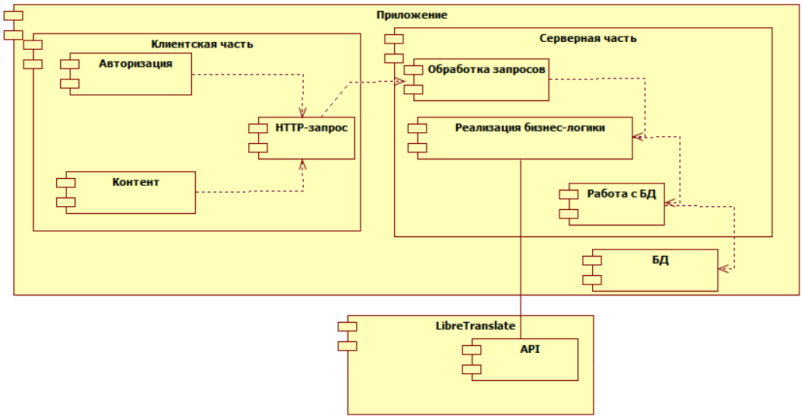


Рис. 2. Диаграмма компонентов веб-приложения

1. Компонент авторизации – компонент, отвечающий за авторизацию и регистрацию пользователя в системе.
2. Компонент контента – компонент, который выводит информацию из базы данных на страницу сайта.
3. HTTP-клиент – компонент, который реализует взаимодействие с сервером системы.
4. Компонент обработки запросов – компонент, отвечающий за обработку запросов, которые пришли от веб-интерфейса системы;
5. Компонент реализации – компонент, отвечающий за реализацию бизнес-логики в приложении.
6. API – компонент, отвечающий за взаимодействие со сторонним переводчиком.
7. Компонент работы с БД – компонент, отвечающий за взаимодействие с базой данных системы.
8. База данных – хранит информацию о пользователях и метаданные.

6. Структура приложения

Основные блоки структуры приложения представлены на рис. 3. и рис.4.

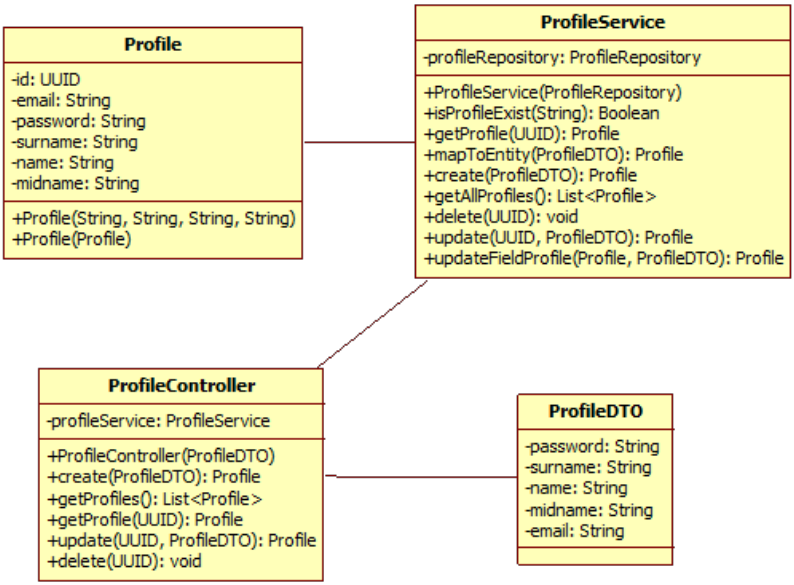


Рис. 3. Блок, реализующий работу с аккаунтом пользователя

Класс «Profile» – Java-класс для связи с сущностью «Profile» в базе данных.

Класс «ProfileService» – слой, реализующий бизнес-логику или Java-класс, основной задачей которого являлась реализация добавления, удаления и редактирования данных о пользователе

Класс «ProfileController» – слой, реализующий обработку HTTP – запросов для работы с профилем пользователя.

Класс «ProfileDTO» – Java-класс, являющийся объектом для передачи данных между клиентом и сервером, а также содержащим информацию о пользователе.

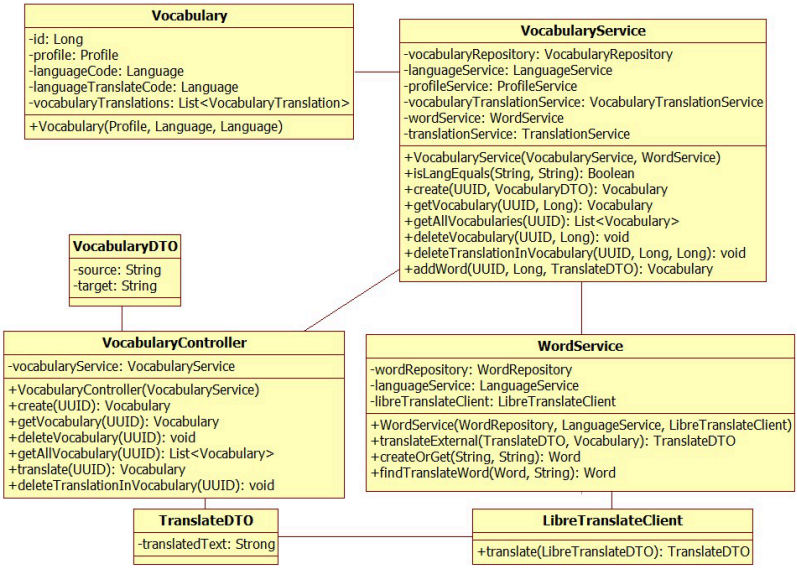


Рис. 4. Блок, реализующий работу со словарями пользователя

Класс «Vocabulary» – Java-класс для связи с сущностью «Vocabulary» в базе данных.

Класс «VocabularyService» – слой, реализующий бизнес-логику по добавлению и удалению словарей, а также для добавления слов в словарь.

Класс «VocabularyController» – слой, реализующий обработку HTTP – запросов для работы со словарем.

Класс «VocabularyDTO» – Java-класс, являющийся объектом для передачи данных между клиентом и сервером, а также содержащим информацию о словаре.

Класс «WordService» – слой, реализующий основную бизнес-логику приложения. Основным методом данного Java-класса является – «findTranslateWord», в котором осуществляется нахождение переводимого слова и его перевода на требуемый язык в базе данных. В случае, если в приложении не хватает информации для перевода слова – используется объект класса «LibreTranslateClient» для обращения за переводом к внешнему API. После чего, данные о словах и переводе фиксируются в базе данных для последующих запросов.

Класс «TranslateDTO» – Java-класс, являющийся объектом для передачи данных между клиентом и сервером, а также содержащим информацию о переведенном или переводимом слове.

Класс «LibreTranslateClient» – Java-класс, отвечающий за отправку HTTP – запросов на внешнее API для перевода слов.

Заключение

В результате работы спроектировано веб-приложение-помощник в изучении иностранных слов. Были проанализированы аналогичные решения, их преимущества и недостатки. Разработаны требования к веб-приложению, спроектирована архитектура, база данных и выбраны средства реализации. В дальнейшем планируется реализовать клиентскую и серверную части.

Литература

1. Duolingo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.duolingo.com

2. Quizziz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://quizizz.com

3. Lingualeo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lingualeo.com/ru

4. Memrise [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.memrise.com

5. Нартова, А. PowerDesigner 15. Моделирование данных / А. Нартова. – Москва: Лори, 2020. – 470 с.

6. PostgreSQL: Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.postgresql.org/docs/

7. Шилдт, Г. Java. Полное руководство / Г. Шилдт. – 12-е изд. – СПб: Диалектика, 2018. – 1488 с.

8. Уоллс, К. Spring в действии / К. Уоллс. – 6-е изд. – Москва: ДМК-Пресс, 2022. – 544 с.

9. Спилкэ, Л. Spring быстро / Л. Спилкэ. – 4-е изд. – СПб: Питер, 2021. – 448 с.

10. Клеппман, М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка / М. Клеппман. – 1-е изд. – СПб: Питер, 2018. – 640 с.

Управление зависимостями в TCA-приложениях: практическое применение в мобильном решении для мониторинга состояния здоровья растений

Д. И. Шмойлов, email: daniil.shmoylove@gmail.com
В. С. Тарасов, email: tarasov.vyacheslav90@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной работе рассматривается применение библиотеки TCA Dependencies в контексте мобильного приложения для мониторинга состояния здоровья растений. Проведен сравнительный анализ эффективности TCA Dependencies с традиционными подходами к управлению состоянием и зависимостями, а также продемонстрированы их преимущества.*

Ключевые слова: *TCA, Dependencies, Dependency Injection, DI, DependencyKey, Client, Feature, Service.*

Введение

Управление зависимостями (Dependency Injection, DI) стало важным инструментом в разработке современных приложений, позволяя упростить тестирование, повысить модульность и улучшить поддерживаемость кода. DI был популяризирован в начале 2000-х годов как часть практик объектно-ориентированного программирования, и с тех пор активно используется в различных языках и платформах. В данной работе рассматривается применение библиотеки Dependencies, которая предлагает новый подход к DI, в сочетании с архитектурой The Composable Architecture (TCA) [1] для создания мобильного приложения на iOS, анализирующего состояние растений с помощью камеры смартфона.

1. Постановка задачи

Задача исследования заключается в сравнении производительности и эффективности реактивного подхода с императивным методом обработки сетевых запросов. В частности, будет проведено сравнение общей отзывчивости, читаемости и поддерживаемости кода, обработок ошибок, повторного использования кода, тестирования при применении реактивного программирования по сравнению с традиционными методами. В ходе исследования также будут выявлены преимущества и ограничения реактивного подхода.

© Шмойлов Д. И., Тарасов В. С., 2025

Целью работы является практическое применение подхода Dependency Injection (DI) [2] с использованием библиотеки Dependencies в рамках архитектуры TCA для разработки мобильного приложения, предназначенного для мониторинга состояния здоровья растений.

2. Проблема управления зависимости в современных приложениях

Управление зависимостями также представляет собой вызов, так как сервисы, сетевые клиенты и другие компоненты должны быть легко заменяемыми и тестируемыми. Ручное внедрение зависимостей или использование глобальных экземпляров может привести к сильной связанности компонентов, что усложняет тестирование и повторное использование кода. Эти проблемы требуют применения современных архитектурных подходов

Существует три основных способа внедрения зависимостей: через конструктор (constructor injection), через свойства (property injection) и через методы (method injection) [3].

1. Constructor injection

Зависимости передаются через параметры конструктора класса.

Плюсы:

- Явное указание всех зависимостей, что делает код более понятным;
- Гарантирует, что объект будет создан только с полностью инициализированными зависимостями;
- Упрощает тестирование, так как зависимости легко подменить mock-объектами.

Минусы:

- Может привести к большому количеству параметров в конструкторе, что усложняет его использование;
- Не подходит для случаев, когда зависимости могут изменяться в течение жизни объекта.

2. Property injection

Зависимости задаются через публичные свойства или поля класса после его создания.

Плюсы:

- Гибкость, так как зависимости можно изменять в реальном времени;
- Упрощает создание объектов, особенно когда зависимости неизвестны на момент инициализации.

Минусы:

– Неявное указание зависимостей, что может привести к ошибкам, если зависимость не будет установлена;
– Усложняет тестирование, так как необходимо убедиться, что все свойства установлены перед использованием объекта.

3. Method injection

Зависимости передаются в качестве параметров метода, который их использует.

Плюсы:

– Позволяет передавать зависимости только тогда, когда они действительно нужны;
– Подходит для сценариев, где зависимости изменяются в зависимости от контекста вызова.

Минусы:

– Может привести к дублированию кода, если метод вызывается многократно с одинаковыми зависимостями;
– Усложняет понимание кода, так как зависимости не видны на уровне класса.

3. Dependencies

Dependencies – это фреймворк, представленный компанией Point-Free, предназначенный для управления зависимостями в Swift-приложениях. Он предлагает декларативный подход к внедрению зависимостей, интегрируясь с архитектурой TCA. Библиотека позволяет описывать зависимости в виде типов, что упрощает их использование и тестирование.

Dependencies обеспечивает высокоуровневый API для управления зависимостями, включая такие функции, как автоматическое разрешение зависимостей, поддержка моков для тестирования и возможность переопределения зависимостей в runtime.

Плюсы.

– Упрощение тестирования за счет поддержки моков и стабов;
– Декларативный и типобезопасный API;
– Удобство переопределения зависимостей в реальном времени.

Минусы.

– Требует понимания концепций DI и TCA;
– Может быть избыточным для простых приложений;
– Ограниченная документация и сообщество по сравнению с более популярными решениями.

1. Dependency и DependencyKey

Библиотека Dependencies строится на нескольких ключевых концепциях, которые обеспечивают её гибкость и удобство использования. Основным элементом является тип Dependency, который

описывает конкретную зависимость, такую как сервис, хранилище или сетевой клиент. Зависимости регистрируются в системе с помощью DependencyKey, что позволяет однозначно идентифицировать их в контейнере рис. 1.

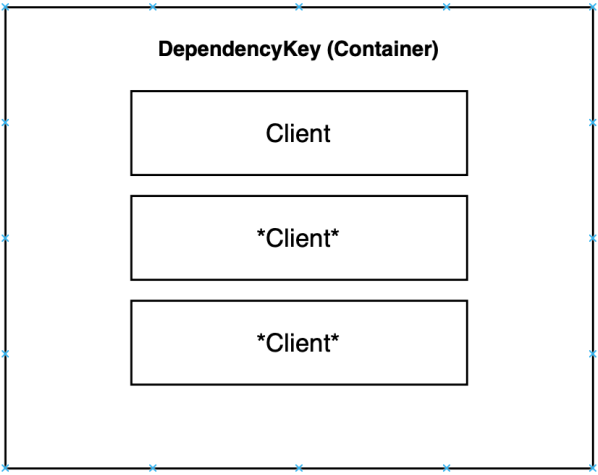


Рис. 1. DependencyKey хранилище

2. Внедрение зависимости

Библиотека Dependencies относится к внедрению через свойства, используя механизм property wrapper [4] (например, @Dependency) для автоматического разрешения и предоставления зависимостей. Зависимости регистрируются в контейнере через DependencyKey и извлекаются с помощью DependencyValues, что позволяет гибко управлять их жизненным циклом и переопределять их в реальном времени.

Property Injection является предпочтительным способом внедрения зависимостей в мобильной разработке благодаря своей гибкости и простоте интеграции с декларативными фреймворками, как показано на рис. 2.

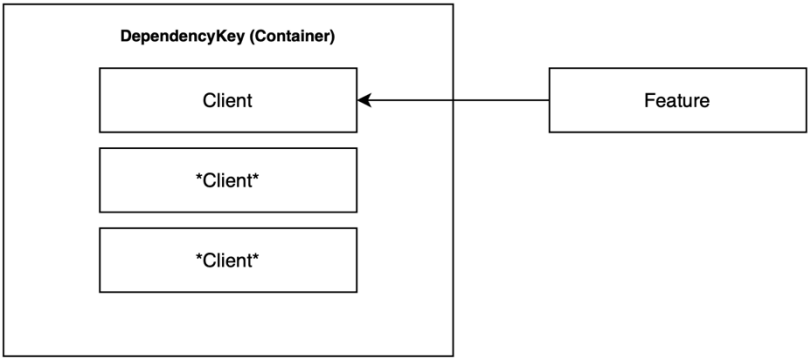


Рис. 2. Внедрение зависимости

3. Lifecycle

Жизненный цикл зависимостей в библиотеке управляется контейнером DependencyValues [5]. Зависимости регистрируются с помощью DependencyKey и создаются либо при первом запросе (ленивая инициализация), либо в момент регистрации. Когда оболочка свойства Dependency инициализируется, она фиксирует текущее состояние зависимости в этот момент.

Также Dependencies поддерживает иерархию контейнеров для управления контекстными зависимостями. Время жизни зависимостей определяется контейнером, что обеспечивает автоматическое освобождение ресурсов и предотвращает утечки памяти.

4. Практическое применение в мобильном приложении

В рамках приложения для мониторинга состояния здоровья растений будут реализованы зависимости для взаимодействия с локальной CoreML моделью. Результат на рис. 3.

1. Проектирование объектов и слоев

– PlantRecongizerFeature;

Feature слой, отвечающий за логику анализа состояния растения. Он управляет состоянием и действиями, такими как обработка изображения и обновление результата анализа.

– PlantRecognizerClient;

Client слой, который выступает промежуточным слоем между PlantRecognizerFeature и PlantRecognizerClient. Он будет внедрятся в Feature слой с помощью Property Injection метода.

– PlantRecognizerService.

Service слой, который использует PlantRecognizerClient для выполнения анализа.

2. Связь через DI Dependencies
   - PlantRecognizerClient регистрируется в контейнере DependencyValues с использованием DependencyKey. Это делает его доступным для всех компонентов приложения;
   - PlantRecognizerFeature запрашивает PlantRecognizerClient через @Dependency, чтобы использовать его методы для анализа изображений. При этом PlantRecognizerFeature не знает о существовании PlantRecognizerService, так как он инкапсулирован внутри PlantRecognizerClient;
   - PlantRecognizerClient внутри себя использует PlantRecognizerService для выполнения анализа изображений с помощью CoreML-модели;
   - Для тестирования PlantRecognizerClient переопределяется на MockPlantRecognizerClient через метод override в DependencyValues, что позволяет изолировать тесты от реальной CoreML-модели.

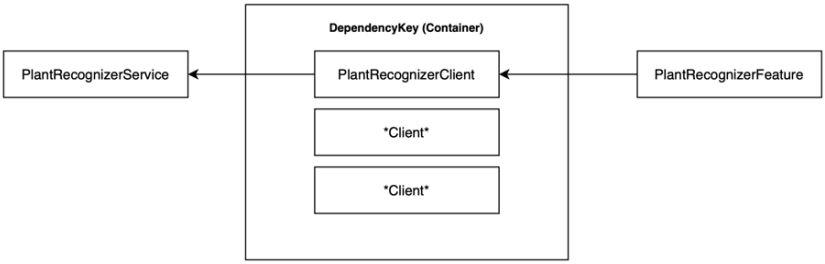


Рис. 3. Связь через DI Dependencies

5. Преимущества подхода Dependencies

Dependencies выделяется среди других решений для управления зависимостями благодаря своей уникальной комбинации Property Injection и современного подхода к DI (Dependency Injection).

1. Преимущстево Property Injection

Dependencies использует Property Injection как основной механизм внедрения зависимостей, который имеет несколько преимуществ.

С помощью Property Wrapper @Dependency разработчик может легко запрашивать зависимости в любом месте кода, не заботясь о их ручном внедрении. Это упрощает архитектуру приложения, уменьшает количество шаблонного кода и делает зависимости более явными. Кроме того, Property Injection естественно интегрируется с такими

инструментами, как @EnvironmentObject в SwiftUI, что позволяет создавать согласованные и легко поддерживаемые интерфейсы.

2. Преимущество Dependencies подхода
   – Декларативность и типобезопасность;
   – Переопределение зависимостей;
   – Поддержка вложенности зависимостей;
   – Оптимизированная инициализация.
3. Переопределение зависимостей

Также библиотека предоставляет мощный механизм переопределения зависимостей с помощью метода withDependencies [6], который особенно полезен для тестирования и настройки окружения. Мы можем определить наши зависимости для разных окружений, как показано на рис. 4.

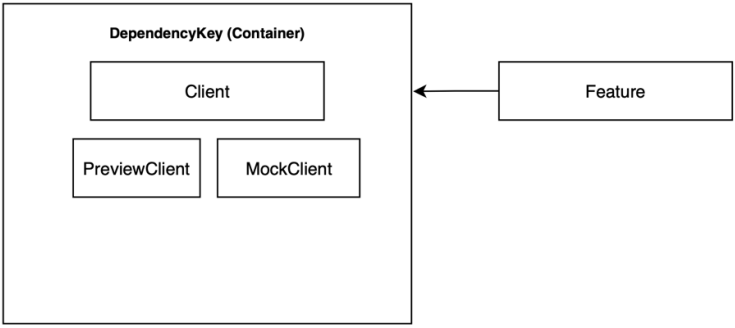


Рис. 4. Подмена зависимости

6. Анализ проделанной работы

Данная работа носит скорее теоретический, ознакомительный характер. Представленную в ней информацию нельзя считать всеобъемлющей, но её можно использовать в качестве базы для дальнейшего, более глубокого изучения темы управления зависимостями с помощью библиотеки Dependencies.

Информация, приведённая в данной работе, скорее всего, послужит основой для продолжения исследований в области управления состоянием и зависимостями, сфокусировав внимание на аспектах интеграции и применения технологии Dependencies.

Заключение

В данной работе рассмотрено практическое применение библиотеки Dependencies для мобильного приложения. Показано, что

использование Dependencies обеспечивает гибкость, декларативность и типобезопасность за счёт Property Injection и возможности переопределения зависимостей.

Полученные результаты демонстрируют, что сочетание TCA и Dependencies позволяет создавать предсказуемые и поддерживаемые приложения, особенно в сложных сценариях. Данный подход открывает возможности для дальнейшего исследования и применения в других областях, где требуется эффективное управление состоянием и зависимостями.

Список литературы

1. The Composable Architecture (TCA) [Электронный ресурс] : офиц. документация / Point-Free. – Режим доступа: https://pointfreeco.github.io/swift-composable-architecture/

2. Dependencies: A Modern Approach to Dependency Injection in Swift [Электронный ресурс] : Point-Free. – Режим доступа: https://pointfree.co/collections/dependencies

3. DI в iOS: Complete Guide [Электронный ресурс] : Tinkoff Bank / Habr. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/tbank/articles/546360/

4. Exploring Property Wrappers [Электронный ресурс] : Swift.org. – Режим доступа: https://www.swift.org/blog/property-wrappers/

5. Lifecycle TCA Dependencies [Электронный ресурс] : офиц. документация / Point-Free. – Режим доступа: https://pointfreeco.github.io/swift-dependencies/main/documentation/dependencies/lifetimes

6. Dependencies Override [Электронный ресурс] : офиц. документация / Point-Free. – Режим доступа: https://pointfreeco.github.io/swift-dependencies/main/documentation/dependencies/overridingdependencies

Секция 2
Компьютерное моделирование в фундаментальных и прикладных исследованиях

Особенности построения и интеграции модулей обработки и прогнозирования данных для имитационной модели когнитивного радио

Е.Р. Адамовский, email: e.adamovsky@psu.by
В.М. Чертков, email: v.chertkov@psu.by
Р.П. Богуш email: r.bogush@psu.by

[1] Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой

Аннотация. *В данной работе рассматривается задача построения модели системы когнитивного радио. Для этого предлагается структура модулей обработки и прогнозирования данных для имитационной модели когнитивного радио на базе системы связи LTE. Представлены основные элементы модулей, особенности их интеграции и применяемые алгоритмы обработки данных.*

Ключевые слова: *система когнитивного радио, нейронная сеть, прогнозирование занятости частотных ресурсов.*

Введение

Моделирование процедур обработки сигналов и прогнозирования данных является важным этапом при разработке когнитивных систем связи, так как позволяет оценить поведение такой системы при различных сценариях ее функционирования. Таким образом обеспечивается сокращение материальных и временных затрат на разработку физического прототипа. Однако следует отметить, что высокая сложность систем, использующих динамический доступ к спектру, требует многоэтапного подхода и при моделировании работы таких систем. Возможность более полного использования частотного ресурса сопряжена со сложностями обеспечения множества требований, иногда даже противоречивых [1], на практике. В данной статье рассматриваются подходы к построению модулей обработки и прогнозирования данных для имитационной модели когнитивного радио.

1. Описание модели

Разработанная структура для имитационной модели когнитивного радио включает следующие модули: формирование и обработка сигналов системы сотовой связи LTE (модуль №1), обучение прогнозирующей нейросетевой модели (модуль №2), прогнозирование

© Адамовский Е. Р., Чертков В. М., Богуш Р. П., 2025

занятости частотных ресурсов (модуль №3). Модуль №1 используется для генерации выходных данных и генерирует файлы, которые отражают состояние карты радиосреды (Radio Environment Map, REM) в заданные моменты времени на основе взаимодействия объектов базовых станций (Base Station, BS) и абонентских устройств (User Equipment, UE) [2]. Данный модуль включает основные блоки: инициализация REM (размер и шаг); инициализация объектов BS и UE, включая генерацию расписания перемещений и сеансов связи; сохранение параметров модели; рабочий цикл, который производит обновление состояний моделируемых объектов, формирует их сигналы согласно спецификации LTE, рассчитывает REM и сохраняет результат в файл.

Формирование расписания абонентов производится на основе опорной матрицы, которая определяет набор и порядок временных параметров: номер отсчета в сутках, тип дня (рабочий, выходной, праздник), номер дня недели, номер недели месяца.

Для формирования имитационного радиосигнала BS согласно спецификации LTE используется приложение MatLab «LTE Waveform Generator». При этом данные образованного сигнала можно классифицировать по типам на три группы: служебные, вспомогательные и пользовательские.

Модуль №2 включает основные блоки: загрузка параметров модели LTE и состояний REM за моделируемый период; формирование обучающего набора данных; перемешивание и разделение данных на тренировочную, тестовую и валидационную часть; определение параметров модели искусственной нейронной сети (ИНС); ее обучение; сохранение; тестирование и оценка точности работы обученной модели.

Модуль №3 выполняет прогнозирование занятости частотных ресурсов в виде содержимого заданной ячейки REM имитационной модели, и включает основные блоки: загрузка обученной модели ИНС, подготовка исходных данных текущей REM для подачи на вход ИНС, процедура прогнозирования, оценка точности прогноза.

2. Модуль формирования и обработки сигналов системы сотовой связи LTE

В имитационной модели при расстановке объектов BS на REM, используется жесткое повторное использование полос частот каналов, что определяет разбиение рабочего частотного диапазона на три полосы, которые задействуются в соответствии с определенной моделью повторного использования.

Ширина восходящего (uplink, UL) и нисходящего (downlink, DL) каналов составляет 75 МГц, что соответствует 25 ресурсным блокам (Resource Block, RB) LTE по 5 МГц. Максимальное количество объектов

UE, которые могут быть подключены к одной BS, зависит от объема ее частотного ресурса, распределяемого между ними. Для выбранной ширины канала объем частотного ресурса на один кадр LTE, равный 10 мс, составляет 250 RB. Таким образом, базовая станция способна в течение 10 мс выделить только один RB для одного UE в любом подкадре, который составляет 1/10 кадра LTE по длительности. Следовательно, к одной базовой станции может подключиться 250 абонентов с учетом того, что каждому будет выделен только один RB.

Расстояние между соседними объектами BS выбрано равным 1 км, что соответствует распределению реальных базовых станций в районах средней и низкой плотности застройки. При этом размер ячеек REM составляет 250 м. Количество объектов BS и UE на REM является настраиваемым параметром и определяется выбранным сценарием.

Объект UE в имитационной модели LTE инициализируется параметрами: начальные координаты, номер частотного диапазона, идентификационный номер RNTI, мощность передатчика и тип устройства, который определяет, является ли объект первичным (Primary User, PU) или вторичным пользователем (Secondary User, SU). Также объект UE содержит поля: статус активности, список доступных станций, номер рабочей BS, к которой в данный момент осуществлено подключение, а также выделенные ресурсы для передачи данных.

Объект BS инициализируется параметрами: индекс, статические координаты и номер частотного диапазона. Также каждая BS содержит поля: список номеров подключенных абонентов, выделенные и распределенные между ними частотные ресурсы в виде номеров блоков планирования (Scheduling Block, SB) отдельно для UL и DL каналов связи, которые состоят из двух соседних RB на одинаковых поднесущих.

Для обработки сигналов в системах когнитивного радио используют комбинацию подходов [3]. При разработке модели для обработки сигналов предусмотрены следующие этапы. На каждой новой итерации рабочего цикла модели осуществляется обновление позиций и статуса активности UE согласно расписанию перемещений и сеансов связи соответственно. Также выполняется проверка для каждой UE на подключение к другой BS по критерию мощности принимаемого от нее сигнала. Отключения UE и их переподключение приводят к перераспределению частотных ресурсов соответствующих BS. После завершения процедуры обновления состояний UE осуществляется генерация всех сигналов и размещения их на карте REM в местах расположения объектов, которые их излучают. Следующим этапом рабочего цикла является расчет всей карты REM путем объединения сигналов в каждой ее ячейке, с учетом распространения излучающих

сигналов по упрощенной модели затухания. Сперва высчитываются все промежуточные карты REM от каждой BS и от каждого UE, а потом они суммируются.

Следует отметить, что базовые станции взаимодействуют только с лицензированными пользователями (объекты PU), а прогнозирование занятости частотных ресурсов осуществляется для объектов SU. Разделение данных первичных и вторичных пользователей осуществляется на основе подхода, представленного в работе [4].

3. Модуль обучения прогнозирующей нейросетевой модели

В настоящее время применение нейронных сетей типа Long short-term memory (LSTM) или их модификаций для прогнозирования занятости частотных ресурсов является наиболее предпочтительным, поскольку они позволяют обеспечить наибольшую точность для больших объемов данных, содержащих неявные паттерны. Кроме этого, перспективна архитектура сети Колмогорова-Арнольда (Kolmogorov-Arnold network, KAN), которая может показать более высокую точность по сравнению с другими архитектурами нейронных сетей при аналогичном числе параметров. Поэтому в модели предусмотрена возможность использования указанных типов архитектур.

Ключевым этапом в генерации обучающего набора данных является формирование соответствия между входной и выходной информацией, которая отражена в табл. 1.

Таблица 1

Структура данных для обучения прогнозирующей модели

Входные данные					Выходные данные
Номер отсчета в сутках	Номер дня недели	Тип дня	Номер недели месяца	Номер линии RB	Статус 20 слотов кадра LTE

Представленные данные вычисляются на основе выходных файлов имитационной модели LTE, которые содержат структуру REM, ее параметров, а также файла с опорной матрицей. Следует отметить, что один слот составляет половину длительности подкадра LTE.

4. Модуль прогнозирования занятости частотных ресурсов

Интеграция модуля №3 и модуля №1 реализуется путем системного вызова имитационной моделью LTE внешнего Python-скрипта с набором параметров (см. табл. 1, «Входные данные»), которые сформированы на основе текущей REM. Скрипт выполняет загрузку обученной модели и

возвращает прогноз в текстовом виде, который преобразуется в массив из 20 логических значений. Затем производится сравнение прогноза и текущего состояния имитационной модели LTE.

На основе представленной прогнозирующей моделью ИНС информации когнитивная система может принять решение о внедрении в структуру сигнала LTE данных SU. Для этого необходимо выполнить ее разделение, которое предлагается осуществлять по виду применяемой модуляции и расположению на ресурсной сетке кадра LTE. В табл. 2 представлены виды модуляции для передаваемых данных в LTE.

Таблица 2

Виды модуляции для передаваемых данных в сигнале LTE

Данные	**Тип модуляции**
Информация о соте (PBCH)	QPSK
Распределение ресурсов (PDCCH)	QPSK
Данные для нескольких PU (PMCH)	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Формат данных (PCFICH)	QPSK
Данные обратной связи PU (PHICH)	BPSK
Пользовательские (PDSCH)	QPSK,16-QAM, 64-QAM
Опорные сигналы (RS)	Коды Голда
Синхропоследовательности (PSS/SSS)	Последовательности Задова-Чу, m-последовательности

Первым этапом разделения является получение данных в ячейке REM для одной BS. Интеграция данных SU в каждый следующий кадр LTE осуществляется путем использования пробелов в частотном спектре в ограниченной полосе. На следующем этапе формируется радиосигнал, который подвергается воздействию шума и заменяет выбранный в ячейке REM сигнал от BS. Имитация приема включает синхронизацию и восстановление переданного кадра LTE на основе методики, описанной в спецификации TS 36.211.

Классификация данных по типу пользователя в кадре сети LTE осуществляется на основе анализа ресурсной сетки и вида применяемой модуляции. Алгоритм разделения данных состоит из следующих этапов:

1. Определение основных параметров объекта BS.
2. Поиск и локализация RS в ресурсной сетке и оценка их схожести. Сравниваются индексы обнаруженных сигналов и RS.
3. Проверка подлинности и сопоставление PSS и SSS согласно статическим параметрам BS.

4. Классификация служебных данных PBCH, PCFICH, PDCCH и PDSCH по их расположению и виду модуляции.

5. Поиск данных PU. По декодированной информации о блоках, занятых для передачи данных PU, осуществляется сопоставление с реальными данными, проверяется вид модуляции на соответствующих позициях. Если выявлено несоответствие, соответствующим ресурсным элементам присваивается неопределенный тип, а при отсутствии данных они относятся к незанятым.

6. Поиск данных SU по всей ресурсной сетке с анализом отдельных RB, которые проходят этап обнаружения вида модуляции. Если в RB применяется несколько ее видов, то он не может быть занят данными SU. Если модуляция соответствует 16QAM, то декодированный поток бит из этого блока проходит оценку корреляции с данными передатчика и приемника. В когнитивной системе связи все устройства SU известны. При обнаружении одного из устройств SU (передатчик или приемник) весь RB относится к типу данных SU.

Заключение

Представленные аспекты построения и интеграции модулей обработки и прогнозирования данных могут быть использованы для имитационной модели когнитивного радио. Описаны алгоритмы обработки и разделения данных, а также структура данных ля обучения прогнозирующих моделей на основе нейронных сетей.

Список литературы

1. Головской, В. А. Математическая модель функционирования когнитивной радиосистемы / В. А. Головской // Журнал радиоэлектроники. – 2024. – №. 3.

2. Адамовский, Е. Р. Модель формирования карты радиосреды для когнитивной системы связи на базе сотовой сети LTE / Е. Р. Адамовский, В. М. Чертков, Р. П. Богуш // Компьютерные исследования и моделирование. –2022. – Т. 14. – № 1. – С. 127–146.

3. Гринин Е. Е. Исследование алгоритмов обнаружения сигналов в когнитивных радиосетях. / Е. Е. Гринин, А. Б. Антиликаторов, О. В. Четкин, И. А. Новикова // Вестник Воронежского государственного технического университета. –2021, т. 17, № 2, с. 101–106.

4. Чертков, В.М. Имитационное моделирование разделения данных первичных и вторичных пользователей в когнитивной системе связи / В.М. Чертков, Р.П. Богуш, Е.Р. Адамовский, Н.М. Наумович, И.К. Стежко // Материалы XXIII Международной конференции им. Э.К. Алгазинова «Информатика: проблемы, методы, технологии» (IPMT), 15-17 февраля 2023г. – С.471 – 477.

Математическое моделирование вращающегося диска переменной толщины

М. А. Артемов, e-mail: artemov_m_a@mail.ru
Р Г. Меджидов, e-mail: ihatedamnmails@gmail.com

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация. *Выполнено математическое и компьютерное моделирование, позволяющее оценить упругопластическое состояние вращающихся дисков переменной толщины. Связь пластических деформаций и напряжений определяется нормальным законом. Построение математической модели проводится в рамках теории малых упругопластических деформаций. Предложенный алгоритм численного решения задачи допускает выбор любой гладкой функции пластичности. Параметры материала считаются постоянными величинами.*

Ключевые слова: *гладкая функция пластичности, ассоциированный закон пластического деформирования, теория малых деформаций, упругопластическое состояние, диск переменной толщины, вращающийся диск.*

Введение

Интерес к задачам о вращающемся диске обусловлен тем, что они находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Имеется много научных публикаций, в которых рассматривается задача о быстро вращающемся диске в разных постановках и для разных математических моделей, например, [1-10]. С 90-х годов прошлого столетия интерес к изучению упругопластического состояния вращающихся дисков был вызван известной научной работой У. Гамера [11], в которой он указывал на невозможность использования модели идеального упругопластического тела с условием пластичности Треска. Критические замечания к работе [11] были высказаны в [12].

1. Параметры состояния

Поскольку диск является макроскопической системой, то его состояние определяется внешними и внутренними параметрами. Внешние параметры характеризуют геометрию диска и внешние воздействия. В зависимости от постановки задачи значения некоторых внешних параметров определяются в ходе ее решения. Внутренние

© Артемов М. А., Меджидов Р. Г., 2025

параметры включают задаваемые и искомые параметры. Задаваемые внутренние параметры (параметры материала) являются коэффициентами в определяющих соотношениях, которые в свою очередь устанавливают зависимости между искомыми внутренними параметрами.

2. Безразмерные величины

Все величины и соотношения в данной статье являются безразмерными. За характерный масштаб напряжений принят предел пластичности на одноосное растяжение, за характерный масштаб длины принят внешний радиус диска.

3. Основные соотношения

Уравнение равновесия для диска переменной толщины

$$\rho\frac{dh\sigma_\rho}{d\rho}+h(\sigma_\rho-\sigma_\theta+m\rho^2)=0, \tag{1}$$

где $\sigma_\rho, \sigma_\theta$ – компоненты тензора напряжений, h – толщина диска (функция радиальной координаты), $m=\dfrac{\gamma\omega^2b^2}{gk}$, k – предел пластичности на одноосное растяжение, ω – угловая скорость вращения диска, γ – удельный вес материала, g – ускорение свободного падения, b – внешний радиус диска.

Разделив все слагаемые в уравнении (1) на величину h, перепишем его в виде

$$\rho\frac{d\sigma_\rho}{d\rho}+\left(\rho\frac{d\ln h}{d\rho}+1\right)\sigma_\rho-\sigma_\theta+m\rho^2=0 \tag{2}$$

Соотношения линейного закона Гука для плоского напряженного состояния

$$\begin{aligned}
E\varepsilon_\rho^e &= E(\varepsilon_\rho-\varepsilon_\rho^p)=\sigma_\rho-\nu\sigma_\theta,\\
E\varepsilon_\theta^e &= E(\varepsilon_\theta-\varepsilon_\theta^p)=\sigma_\theta-\nu\sigma_\rho,\\
E\varepsilon_z^e &= E(\varepsilon_z-\varepsilon_z^p)=-\nu(\sigma_\theta+\sigma_\rho).
\end{aligned} \tag{3}$$

Здесь $\varepsilon_\rho^e, \varepsilon_\theta^e, \varepsilon_z^e$ – упругие деформации, $\varepsilon_\rho^p, \varepsilon_\theta^p, \varepsilon_z^p$ – необратимые деформации, $\varepsilon_\rho, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z$ – полные деформации, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона.

Если в области упругого состояния все необратимые деформации $\varepsilon_\rho^p, \varepsilon_\theta^p, \varepsilon_z^p$ равны нулю, то упругие деформации будут полными и соотношения (3) примут вид

$$\begin{aligned} E\varepsilon_\rho &= \sigma_\rho - \nu\sigma_\theta, \\ E\varepsilon_\theta &= \sigma_\theta - \nu\sigma_\rho, \\ E\varepsilon_z &= -\nu(\sigma_\theta + \sigma_\rho). \end{aligned} \tag{4}$$

В рамках теории малых деформаций полные деформации определяются через перемещения соотношениями Коши

$$\begin{aligned} \varepsilon_\rho &= \frac{du}{d\rho}, \\ \varepsilon_\theta &= \frac{u}{\rho}, \end{aligned} \tag{5}$$

Полные деформаций связаны соотношениями совместности

$$\rho\frac{d\varepsilon_\theta}{d\rho} + \varepsilon_\theta - \varepsilon_\rho = 0 \tag{6}$$

В пластической области напряжения связаны условием пластичности

$$F(\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z)|_{\sigma_z=0} = f(\sigma_\rho, \sigma_\theta) = k\ .$$

Пластические деформаций связаны с напряжениями соотношениями ассоциированного закона пластического деформирования

$$\begin{aligned} \varepsilon_\rho^p &= \lambda\frac{\partial F}{\partial\sigma_\rho}|_{\sigma_z=0}, \\ \varepsilon_\theta^p &= \lambda\frac{\partial F}{\partial\sigma_\theta}|_{\sigma_z=0}, \\ \varepsilon_z^p &= \lambda\frac{\partial F}{\partial\sigma_z}|_{\sigma_z=0}\ . \end{aligned} \tag{7}$$

4. Упругая область

Подставляя деформации, определяемые формулами (4), в условие совместности деформаций (6), учитывая уравнение равновесия (2), получаем систему двух дифференциальных уравнений для определения напряжений в упругой области.

$$\begin{cases} \rho\dfrac{d\sigma_\rho}{d\rho}+\left(\rho\dfrac{d\ln h}{d\rho}+1\right)\sigma_\rho-\sigma_\theta+m\rho^2=0, \\ \rho\dfrac{d}{d\rho}\left(\sigma_\theta-\nu\sigma_\rho\right)+(1+\nu)\left(\sigma_\theta-\sigma_\rho\right)=0. \end{cases} \tag{8}$$

Если из уравнения равновесия (2), соотношений закона Гука (4) и условия совместности деформаций (6) исключить деформации и окружное напряжение, то получим дифференциальное уравнение второго порядка относительно радиальной компоненты σ_ρ тензора напряжений.

$$\begin{gathered} \rho\frac{d^2\sigma_\rho}{d\rho^2}+\left(\rho\frac{d\ln h}{d\rho}+3\right)\frac{d\sigma_\rho}{d\rho}+ \\ \left(\rho\frac{d^2\ln h}{d\rho^2}+(2+\nu)\frac{d\ln h}{d\rho}\right)\sigma_\rho+(3+\nu)m\rho^2=0. \end{gathered} \tag{9}$$

Окружная компонента тензора напряжений будет определяться по формуле

$$\sigma_\theta=\rho\frac{d\sigma_\rho}{d\rho}+\left(\rho\frac{d\ln h}{d\rho}+1\right)\sigma_\rho+m\rho^2.$$

Если разрешить соотношения (5) относительно компонент тензора напряжений

$$\begin{aligned} \sigma_\rho&=\frac{E(\varepsilon_\rho+\nu\varepsilon_\theta)}{1-\nu^2}, \\ \sigma_\theta&=\frac{E(\varepsilon_\theta+\nu\varepsilon_\rho)}{1-\nu^2}. \end{aligned} \tag{10}$$

и, учитывая формулы Коши (6), подставить выражения для компонент тензора напряжений, определяемые формулами (10), в уравнение равновесия (3), то получим дифференциальное уравнение второго порядка относительно радиальной компоненты u вектора перемещений

$$\begin{gathered} \rho^2\frac{d^2Eu}{d\rho^2}+\left(\rho^2\frac{d\ln h}{d\rho}+\rho\right)\frac{dEu}{d\rho}+ \\ \left(\nu\rho\frac{d\ln h}{d\rho}-1\right)Eu+(1-\nu^2)m\rho^3=0. \end{gathered} \tag{11}$$

Для дисков постоянной толщины определение напряженного и деформированного состояния независимо от заданных граничных условий связано с решением одной из задач: (8), (9), или (11), поскольку напряжения, деформации и перемещения связаны простыми соотношениями (5), (7), (10). В общем случае для диска переменной толщины уравнения (8), (9), (11) решаются численно. Поэтому выбор или задачи (8), или (9), или (11) зависит от заданных граничных условий.

В зависимости от значений внешних параметров, определяющих внешние воздействия на диск, при решении упругой задачи более удобно использовать то из приведенных уравнений (8), или (9), или (11), которое не требуют задания дополнительных приближенных значений граничных условий, если таковые не указаны при постановке задачи.

5. Эквивалентное напряжение

Для оценки величины напряженного состояния в точках диска, находящихся в упругом состоянии, определяем эквивалентное напряжений. Для модели упругопластического тела эквивалентное напряжение полагается равным функции пластичности. С учетом рассматриваемого плоского напряженного состояния диска

$$\sigma_{eq} = F(\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z)\,|_{\sigma_z=0} \tag{12}$$

6. О законе изменения толщины диска

Уравнения (8), (9), (11) достаточно эффективно решаются численно для любого закона изменения толщины диска. Поэтому выбор частных законов изменения толщины диска, позволяющих получить (иногда весьма громоздкие) аналитические решения указанных уравнений, не представляет особого интереса, что вполне понятно, когда необходимо проводить вычислительный эксперимент для дисков разной конфигурации.

7. Пластическая область

Для идеального пластического тела задача определения напряжений для плоского напряженного состояния является статически определимой. Для диска имеем

$$\begin{cases} \rho\dfrac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \left(\rho\dfrac{d\ln h}{d\rho} + 1\right)\sigma_\rho - \sigma_\theta + m\rho^2 = 0, \\ f(\sigma_\rho, \sigma_\theta) = k. \end{cases} \tag{13}$$

Из соотношений (3), (5), (7) следует уравнение для определения перемещений в пластической области

$$\frac{dEu}{d\rho} - \sigma_\rho + \nu\sigma_\theta - \frac{\partial f / \partial \sigma_\rho}{\partial f / \partial \sigma_\theta}\left(\frac{Eu}{\rho} - \sigma_\theta + \nu\sigma_\rho \right) = 0 .$$

8. Вычислительный эксперимент

Для определенности выбирается закон изменения толщины диска

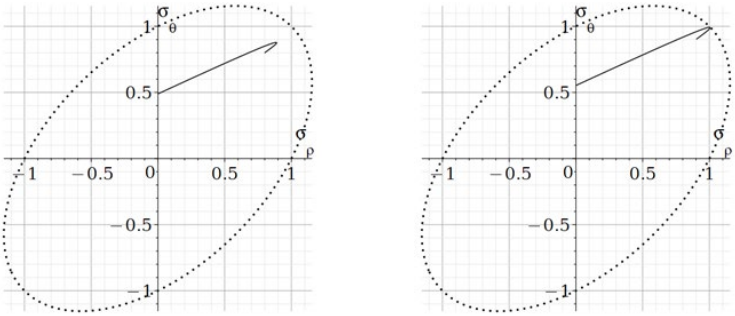
$$h = h(r) = h_0 \left(1 - \delta\sqrt{\rho}\right)$$

и условие пластичности Поля

$$F = \left(\frac{(\sigma_\theta - \sigma_\rho)^{2n} + (\sigma_\theta - \sigma_z)^{2n} + (\sigma_z - \sigma_\rho)^{2n}}{2} \right)^{\frac{1}{2n}} - k.$$

Выбирались следующие значения параметров: $b = 1, \nu = 0.2, h = 0.1, \delta = 0.45, p_b = 0$.

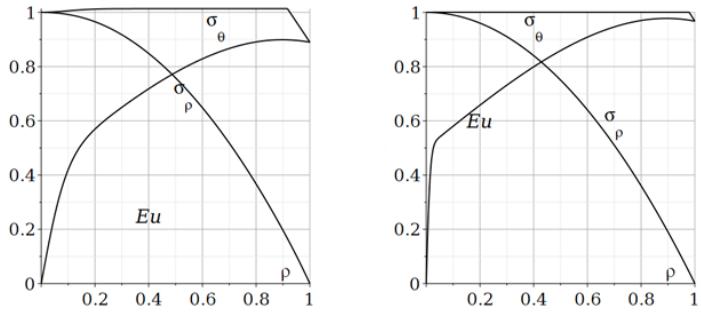
На рис. 1 приведены графики годографа вектора напряжений для разных значений параметра m при n=2.



a b

Рис. 1. a) m= 2.7, b) m=3.05

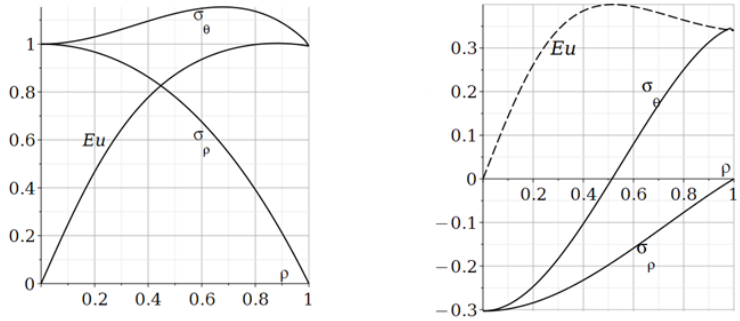
На рис. 2 приведены графики напряжений и радиальных перемещений разных значений параметра n при m=3.



a *b*

Рис. 2. Рис.2. a) n= 26, b)) $n=10^3$

На рис.3 приведены графики напряжений и радиальных перемещений для n=1, когда m=3.258 и после снятии внешнего воздействия (ω=0).



a *b*

Рис. 3. *a*) m=3.258, *b*) m=0

Заключение

Проведенный вычислительный эксперимент показал, что значения напряжений и перемещений в диске существенно зависят от выбора условия пластичности.

Список литературы

1. Chakrabarty, J. Theory of Plasticity: Third Edition. Elsevier, 2005, 896 p. DOI: 10.1016/C2009-0-05774-2

2. Тимошенко С.П. Теория упругости. / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер – М.: Наука, 1979. – 576 с.

3. Соколовский, В.В. Теория пластичности / В.В. Соколовский. – М. : Высш. шк., 1969. – 608 с.

4. Rees, D. W. A. Elastic-Plastic Stresses in Rotating Discs by von Mises and Tresca / D. W. A Rees // ZAMM : Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. – 1999. –Vol. 79. – Iss. 4. – P. 281–288.

5. Madan, R. Limit Elastic Analysis of Functionally Graded Rotating Disks Under Thermo-Mechanical Loading / R. Madan, S. Bhowmick // International Journal of Applied Mechanics. – 2021. – 13 p. : Article 2150033. doi: 10.1142/S1758825121500332

6. Jalali, M.H. Stress Analysis of Rotating Functionally Graded Polar Orthotropic Disk Under Thermomechanical Loading / M.H. Jalali, M.R. Jalali // Journal of Vibroengineering. – 2020. – Vol.22. – No. 3. – P. 640–656. doi: 10.21595/jve.2019.20575

7. Артемов, М.А. Математическое моделирование механического поведения вращающегося диска / М.А. Артемов, А.П. Якубенко. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2014. – № 1. – С. 30−38.

8. Лямина, Е.А. Дизайн равнопрочного вращающегося диска / Е.А. Лямина, О.В. Новожилова. // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 122–134. – ISSN 2782-3733

9. О появлении пластических областей во вращающемся диске / М.А. Артемов [и др.] // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2024. – № 1 (59). – С. 21–39.

10. Lomakin, E. Stress and strain fields in rotating elastic/plastic annular discs / E. Lomakin, S. Alexandrov, Y.R. Jeng. // Archive of Applied Mechanics. – 2016. – Vol. 86, Issues 1–2. – P. 235-244. – DOI: 10.1007/s00419-015-1101-9

11. Gamer, U. Tresca's Yield Condition and the Rotating Disk / U. Gamer // Transactions ASME: Journal of Applied Mechanics. – 1983. – Vol. 50. – No. 2. –P. 676–678.

12. Semka, E. V. Mathematical modeling of rotating disk states, Mathematical modeling of rotating disk states / E. V.Semka, M. A. Artemov, Y. N. Babkina, E. S. Baranovskii, A. I. Shashkin // Journal of Physics : Conference Series 1479 (2020) 012122

Математическое моделирование вращающегося полого диска с жестким внешним покрытием

М. А. Артемов, e-mail: artemov_m_a@mail.ru
А. А. Верлин, e-mail: alexandrverlin@mail.ru

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация. *Выполнено математическое и компьютерное моделирование, позволяющее оценить упругопластическое состояние вращающихся тонкого диска. Связь пластических деформаций и напряжений определяется ассоциированным законом пластического деформирования. Построение математической модели проводится в рамках теории малых упругопластических деформаций. Предложенный алгоритм численного решения задачи допускает выбор любой гладкой функции пластичности.*

Ключевые слова: *гладкая функция пластичности, ассоциированный закон пластического деформирования, теория малых деформаций, вращающийся диск, жесткое внешнее покрытие.*

Введение

Вопросы моделирования состояния тонких дисков малой толщины рассматривались многими авторами. Поскольку тонкие вращающиеся диски используются в качестве отдельных элементов сложных технических конструкций, то построения новых математических моделей, более точно отражающих свойства современных материалов, и построения алгоритмов, позволяющих изучать состояние и поведение дисков в результате различных внешних воздействий, то такого рода задачи являются весьма актуальными. Материалы, касающиеся вопросов математического моделирования и определением состояния вращающихся дисков, являются составной частью (являются разделами) ряда книг, например, [1-6] и журнальный публикаций [7-16].

1. Принятые обозначения

$0\rho\theta z$ – цилиндрическая система координат,

b – внешний радиус цилиндра,

a – внешний радиус цилиндра,

E – модуль Юнга,

ν – коэффициент Пуассона,

k – предел пластичности,

© Артемов М. А., Верлин А. А., 2025

p_a – давление границе $\rho = a$,

p_b – давление на границе $\rho = b$,

$\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z$, – компоненты тензора напряжений,

$\varepsilon_\rho, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z$, – компоненты тензора деформаций,

$\varepsilon_\rho^p, \varepsilon_\theta^p, \varepsilon_z^p$, – компоненты тензора пластических деформаций,

u – радиальная компонента вектора перемещений.

2. Постановка задачи

Рассматривается вращающийся кольцевой диск под действием кинематических и силовых нагрузок: на внешнем и внутреннем контурах диска могут быть заданы перемещения или напряжения. Выбирается цилиндрическая системы координат $0\rho\varphi z$, ось $0z$ которой направлена по оси диска. Все величины (внешние и внутренние параметры, характеризующие состояние диска) приводятся к безразмерному виду; величины, имеющие размерность напряжений, отнесены к значению предела пластичности k на одноосное растяжение. Необходимо определить границы изменения значений параметров нагрузки, в которых диск будет оставаться в упругом состоянии, при этом учесть, что внешний контур диска имеет жесткое внешнее покрытие.

3. Математическая модель

Для рассматриваемого осесимметричного плоско-напряженного состояния уравнение движения запишем в виде [8]

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta + m\rho^2 = 0. \tag{1}$$

Соотношения Коши

$$\varepsilon_\rho = \frac{du_\rho}{d\rho}, \quad \varepsilon_\theta = \frac{u_\rho}{\rho}. \tag{2}$$

Перемещения должны удовлетворять условию совместности деформаций

$$\rho \frac{d\varepsilon_\theta}{d\rho} + \varepsilon_\theta - \varepsilon_\rho = 0. \tag{3}$$

Аддитивное представление полных деформации через упругие и пластические

$$\varepsilon_\rho = \varepsilon_\rho^e + \varepsilon_\rho^p, \quad \varepsilon_\theta = \varepsilon_\theta^e + \varepsilon_\theta^p, \quad \varepsilon_z = \varepsilon_z^e + \varepsilon_z^p. \tag{4}$$

Соотношения линейного закона Гука

$$E\varepsilon_\rho^e = \sigma_\rho - \nu\sigma_\theta,$$
$$E\varepsilon_\theta^e = \sigma_\theta - \nu\sigma_\rho, \qquad (5)$$
$$E\varepsilon_z^e = -\nu(\sigma_\rho + \sigma_\theta).$$

Функция пластичности

$$F(\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z)|_{\sigma_z=0} = f(\sigma_\rho, \sigma_\theta). \qquad (6)$$

Соотношения ассоциированного закона пластического деформирования

$$\frac{\varepsilon_\rho^p}{(\partial F/\partial\sigma_\rho)|_{\sigma_z=0}} = \frac{\varepsilon_\theta^p}{(\partial F/\sigma_\theta)|_{\sigma_z=0}} = \frac{\varepsilon_z^p}{(\partial F/\partial\sigma_z)|_{\sigma_z=0}} \qquad (7)$$

При рассмотрении плоского напряженного состояния, осредненные значения осевого напряжения и осевого перемещения $\frac{1}{h}\int_{z=-h/2}^{z=h/2}\sigma_z(\rho,z)dz = 0$, $\frac{1}{h}\int_{z=-h/2}^{z=h/2} w dz = 0$, осредненная осевая деформация $\varepsilon_z = \frac{1}{h}\int_{z=-h/2}^{z=h/2}\frac{\partial w}{\partial z}dz$.

4. Упругое состояние вращающихся дисков

Когда параметры E (Модуль Юнга) и ν (коэффициент Пуассона) постоянные величины, то задача определения напряжений и перемещений имеет аналитическое решение. Из системы (1) – (5) получаем аналитическое решение для компонент тензора напряжений и перемещений в упругой области диска ($\varepsilon_\rho = \varepsilon_\rho^e, \varepsilon_\theta = \varepsilon_\theta^e$)

$$\sigma_\rho = A - \frac{B}{\rho^2} - \frac{3+\nu}{8}m\rho^2,$$
$$\sigma_\theta = A + \frac{B}{\rho^2} - \frac{1+3\nu}{8}m\rho^2, \qquad (8)$$
$$Eu = (1-\nu)A\rho + \frac{1+\nu}{\rho}B - \frac{1-\nu^2}{8}m\rho^3.$$

В формулах (8) неизвестные величины A, B определяются из граничных условий.

Для граничных условий $\sigma_\rho|_{\rho=a} = -p_a$, $\sigma_\rho|_{\rho=b} = -p_b$

$$A = \frac{3+\nu}{8} m(a^2+b^2) + \frac{a^2 p_a - b^2 p_b}{b^2 - a^2},$$

$$B = \left(\frac{3+\nu}{8} m + \frac{p_a - p_b}{b^2 - a^2} \right) a^2 b^2.$$

Для граничных условий $u|_{\rho=a} = u_a$, $u|_{\rho=b} = u_b$

$$A = \frac{Eu_b b - Eu_a a}{(1-\nu)(b^2-a^2)} + \frac{1+\nu}{8}(a^2+b^2)m,$$

$$B = \frac{Eu_a b - Eu_b a}{(1+\nu)(b^2-a^2)} ab - \frac{1-\nu}{8} a^2 b^2 m.$$

Для граничных условий $u|_{\rho=a} = u_a$, $\sigma_\rho|_{\rho=b} = -p_b$

$$A = \frac{(1+\nu)(3+\nu)b^4 + (1-\nu^2)a^4}{(1-\nu)a^2 + (1+\nu)b^2} \frac{m}{8} + \frac{Eu_a a - (1+\nu)b^2 p_b}{(1-\nu)a^2 + (1+\nu)b^2},$$

$$B = \frac{(1-\nu^2)a^2 - (1-\nu)(3+\nu)b^2}{(1-\nu)a^2 + (1+\nu)b^2} \frac{a^2 b^2 m}{8} + \frac{(1-\nu)ap_b + Eu_a}{(1-\nu)a^2 + (1+\nu)b^2} ab^2.$$

Для граничных условий $\sigma_\rho|_{\rho=a} = -p_a$, $u|_{\rho=b} = u_b$

$$A = \frac{(1-\nu^2)b^4 + (1+\nu)(3+\nu)a^4}{(1-\nu)b^2 + (1+\nu)a^2} \frac{m}{8} + \frac{Eu_b b - (1+\nu)p_a a^2}{(1-\nu)b^2 + (1+\nu)a^2},$$

$$B = \frac{(1-\nu^2)b^2 - (1-\nu)(3+\nu)a^2}{(1-\nu)b^2 + (1+\nu)a^2} \frac{a^2 b^2 m}{8} + \frac{(1-\nu)p_a b + Eu_b}{(1-\nu)b^2 + (1+\nu)a^2} a^2 b \qquad (9)$$

5. Зарождение пластической области

Рассмотрим случай, когда выполняются граничные условия (9) и одна или обе границы $\rho = a$, $\rho = b$. Выберем условие пластичности вида

$$F=(1-\eta)\left(\frac{(\sigma_\theta-\sigma_\rho)^{2n}+(\sigma_\theta-\sigma_z)^{2n}+(\sigma_z-\sigma_\rho)^{2n}}{2}\right)^{\frac{1}{2n}}+$$

$$\eta\left(\frac{(2\sigma_\rho-\sigma_\theta-\sigma_z)^{2q}+(2\sigma_\theta-\sigma_\rho-\sigma_z)^{2q}+(2\sigma_z-\sigma_\theta-\sigma_\rho)^{2q}}{2+2^{2q}}\right)^{\frac{1}{2q}} \quad (10)$$

$$\xi(\sigma_\rho+\sigma_\theta+\sigma_z)-k.$$

Параметры материала α,η,s,n,q – const. На границе $\rho=b$ перемещения равны нулю (жесткий контур).

Пусть граница $\rho=a$ диска переходит в пластическое состояние и давление $p_a=0$. Тогда из условия (10) следует, что $\sigma_\theta=k$ ($\sigma_z=0$). Из условия пластичности находим выражение для параметра m

$$m=4k\frac{(1+\nu)a^2+(1-\nu)b^2}{(1-\nu^2)(b^2-a^2)^2}. \quad (11)$$

Учитывая формулу (11) из условия
$f|_{\rho=b}=k$
находим минимальное значение $a_{\min}$ радиуса внутреннего контура $\rho=a$, для которого возможно появления пластической области в $c\le\rho\le b$.

6. Упругопластическое состояние вращающихся дисков

В упругой области $a\le\rho\le c$, когда $[\sigma_\rho]|_{\rho=a}=0$, $[\sigma_\theta]|_{\rho=a}=k$ величины A,B в (8) вычисляются по формулам

$$A=\frac{k}{2}+\frac{1+\nu}{4}ma^2,$$

$$B=\frac{ka^2}{2}-\frac{1-\nu}{8}ma^4.$$

На упругопластической границе $\rho=c$ должны выполняться условия непрерывности напряжений и перемещений

$$[\sigma_\rho]|_{\rho=c}=[\sigma_\theta]|_{\rho=c}=[u]|_{\rho=c}=0.$$

В пластической области для идеально пластического тела задача определения напряженного состояния является статически

определимой. Напряжения определяются из решения системы (1), (10) численно. Из системы (2) – (5), (7) следует уравнение для определения перемещений

$$\frac{dEu}{d\rho}-\sigma_\rho+\nu\sigma_\theta-\frac{\partial f/\partial\sigma_\rho}{\partial f/\sigma_\theta}\left(\frac{Eu}{\rho}-\sigma_\theta+\nu\sigma_\rho\right)=0.$$

После определения напряжений и перемещений в пластической области упругие деформации определяются согласно (5), пластические деформации определяются согласно (4) и (3).

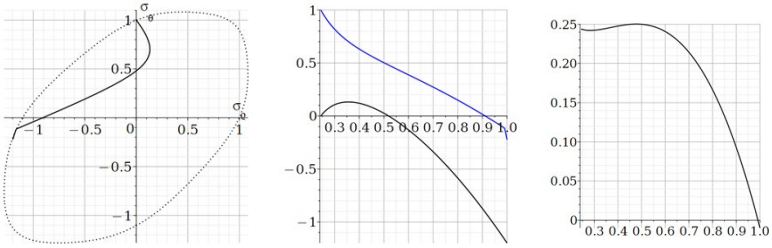
Для упругопластического тела за эквивалентное напряжение принимается функция пластичности. В пластической области для идеально пластического тела задача определения напряженного состояния является статически определимой. На упругопластической границе $\rho=c$ должны выполняться условия непрерывности напряжений и перемещений

$$[\sigma_\rho]|_{\rho=c}=[\sigma_\theta]|_{\rho=c}=[u]|_{\rho=c}=0\,.$$

7. Результаты численного решения задачи

Для определенности зададим следующие значения параметров материала $\alpha=0.05,\ \eta=0,\ s=1,\ n=3,\ q=1,\ k=1,$ Для заданных значений $a_{\min}=0.30284$. На рис.1 приведены графини напряжений, перемещений и годографа вектора напряжений для $\rho\in[a;b]$.

На рис. 1 показаны графики напряжений, для разных значений параметра m и температуры.



a) b) *c)*

Рис. 1. a) годограф вектора напряжений, b) радиальное о окружное напряжения, c) радиальные перемещения
$\delta_E=0,\ \delta_\alpha=0,\ \delta_k=0,\delta_\nu=0,\ \nu_0=0.25$

Заключение

Приведенные результаты показывают, что для диска с жестким внешним покрытием пластическая область может появиться только для определенных значений радиуса внутреннего контура. При увеличении радиуса внутреннего контура и сохранение значений остальных внешних параметров происходит увеличение давления на внешний контур. Имеется предельная величина радиуса внутреннего контура. Когда диск имеет радиус внутреннего контура больше предельного значения, то при нагружении диска будет происходить неограниченный рост пластических деформаций.

Список литературы

1. Chakrabarty, J. Theory of Plasticity: Third Edition. / Chakrabarty, J. – Elsevier, 2005. – 896 p. DOI: 10.1016/C2009-0-05774-2
2. Тимошенко С.П. Теория упругости. / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер – М.: Наука, 1979. – 576 с.
3. Соколовский В.В. Теория пластичности / В.В. Соколовский. – М.: Высш. шк., 1969. 608 с.
4. Calladine C. R. Engineering Plasticity / C. R. Calladine – Oxford, England : Pergamon Press, 1969. – 337 p. – ISBN 9780080139708
5. Демьянушко И. В. Расчет на прочность вращающихся дисков / И. В. Демьянушко, И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 247 с.
6. Alexandrov S. Elastic/Plastic Discs Under Plane Stress Conditions / S. Alexandrov. – New York : Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, – 2015. – 113 p. – DOI: 10.1007/978-3-319-14580-8.
7. Gamer. U. Tresca's Yield Condition and the Rotating Disk / U. Gamer. // Transactions ASME: Journal of Applied Mechanics. 1983. Vol. 50. No. 2. P. 676–678.
8. Rees D. W. A. Elastic-Plastic Stresses in Rotating Discs by von Mises and Tresca / D. W. A. Rees // ZAMM. Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. 1999. Vol. 79. Iss. 4. P. 281–288.
9. Madan R. Limit Elastic Analysis of Functionally Graded Rotating Disks Under Thermo-Mechanical Loading. / R. Madan, S. Bhowmick // Int J Appl Mech. – 2021;13:Article 2150033. – DOI: 10.1142/S1758825121500332
10. Jalali M.H. Stress Analysis of Rotating Functionally Graded Polar Orthotropic Disk Under Thermomechanical Loading. / M.H. Jalali, M.R. Jalali // Journal of Vibroengineering. – 2020;22(3):640–656. doi: 10.21595/jve.2019.20575
11. Артемов М.А. Математическое моделирование механического поведения вращающегося диска / М.А. Артемов, А.П. Якубенко. //

Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2014. – № 1. – С. 30−38.

12. Лямина Е. А. Дизайн равнопрочного вращающегося диска / Е. А. Лямина, О. В. Новожилова. // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 122–134. – ISSN 2782-3733

13. Semka, E. V. Mathematical modeling of rotating disk states, Mathematical modeling of rotating disk states / E. V.Semka, M. A. Artemov, Y. N. Babkina, E. S. Baranovskii, A. I. Shashkin // Journal of Physics: Conference Series 1479 (2020) 012122

14. О появлении пластических областей во вращающемся диске / М.А. Артемов, Е.С. Барановский, Р.Г. Меджидов [и др.] // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2024. – № 1 (59). – С. 21–39.

15. Lomakin, E. Stress and strain fields in rotating elastic/plastic annular discs / E. Lomakin, S. Alexandrov, Y. R. Jeng. // Archive of Applied Mechanics. – 2016. – Vol. 86, Issues 1–2. – P. 235-244. – DOI: 10.1007/s00419-015-1101-9

16. Прокудин, А.Н. Упругопластическое деформирование вращающегося полого цилиндра с жестким внешним покрытием / А.Н. Прокудин, С.В. Фирсов // Сибирский журнал индустриальной математики, 2022, Т. 25, № 2, С. 58–82. – DOI: https://doi.org/10.33048/SIBJIM.2021.25.205

Результаты численного эксперимента по анализу зависимости структуры голограммы источника звука от частоты

В. А. Башкарев, email: bashkarev.edu@yandex.ru [1]
С. А. Переселков, email: pereselkov@yandex.ru [1]
В. М. Кузькин, email: kumiov@yandex.ru [2]
А. С. Переселков, email: pereselkov@yandex.ru [1]

[1] Воронежский государственный университет
[2] Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

Аннотация. *Проанализирована структура 2D-голограммы широкополосного акустического источника в океаническом волноводе. Анализ проведён численно на основе модового описания акустического поля на случай регулярного океанического волновода. Исследованы зависимости 2D-голограммы от полосы частот из диапазона 100–1000 Гц и от времени наблюдения из диапазона 30–240 с. Результаты численного эксперимента представлены в виде зависимостей положения и ширины максимума углового распределения 2D-голограммы.*

Ключевые слова: *гидроакустический волновод, звуковое поле, голографическая обработка, интерферограмма, голограмма, угловое распределение 2D-голограммы.*

Введение

Представлена методика голографической обработки широкополосных гидроакустических сигналов для мелкого моря. Теоретические разработки базируются на интерференционном подходе [1, 2]. Существуют работы, в которых детально рассмотрено текущее состояние методов голографической обработки, в частности в книге [3] приведен подробный список литературы. Суть обработки заключается в применении к интерферограмме акустического поля двумерного частотно-временного преобразования Фурье. Метод позволяет нивелировать флуктуации среды и обеспечить высокую помехоустойчивость при решении задачи гидролокации: обнаружения [4−7], разрешения [8, 9], пеленгования [10, 11], определения радиальной скорости (проекция скорости в направлении приемника) и удаления [1, 2, 12−16], восстановления глубины [17, 18]. Привлекательность метода заключается в отсутствии потребности подробного описания среды

© Башкарев В. А.,. Переселков С. А, Кузькин В. М., Переселков А. С., 2025

распространения звуковых колебаний, что является на практике чрезвычайно сложной задачей в силу многофакторности и динамизма. Важным шагом для развития голографической обработки явилось установление адаптивных алгоритмов, которые позволяют восстанавливать удаление и радиальную скорость источника без знания априорной информации о характеристиках среды распространения [19, 20]. Данный факт расширяет область применения голографической обработки и позволяет решать проблему опознавания малошумных источников в акваториях с неизвестными передаточными функциями. В отличие от методов пространственной обработки сигналов, согласованных со средой распространения, голографическая обработка позволяет установить простые и универсальные соотношения между восстанавливаемыми параметрами источника и измеряемыми величинами. Для решения описанных задач достаточно использование одиночных приемников.

Предметом исследования данной работы является проведение численного эксперимента для анализа частотной и временной зависимость структуры 2D-голограммы широкополосного звукового сигнала источника в мелком море.

Результаты численного эксперимента

Горизонтально-однородный волновод глубиной $H = 50\ м$, равномерный профиль скорости звука $c = 1500\ м/с$. Диапазон частот $f = 100 - 1000\ Гц$. Диапазон времени наблюдения $\Delta t = 30 - 240\ с$. Параметры поглощающего однородного дна: отношение плотности грунта и воды $\rho = 1.8\ г/см^3$, комплексный показатель преломления $n = 0.84(1 + i0.03)$. Начальное горизонтальное расстояние $r_0 = 10\ км$ км. Скорость источника $v = 2\ м/с$. Глубина приемника $z_R = 48\ м$ м, глубина источника $z_S = 10\ м$. Приемник $Q_0(0,0)$ расположен в начале неподвижной системы координат (X, Y, Z).

Результаты численного эксперимента приведены в графической форме на рис. 1−4. Семейство кривых на рис. 1 даёт представление о поведении экстремума углового распределения голограммы χ и ширины углового распределения голограммы $\Delta\chi$ в зависимости от диапазона частот. При моделировании закладывалось, что источник движется со скоростью $v = 2\ м/с$ и время наблюдения составляет $\Delta t = 240 c$. Согласно рис. 1 (а) набор кривых демонстрирует, что, при увеличении начального расстояния между источником и приемником

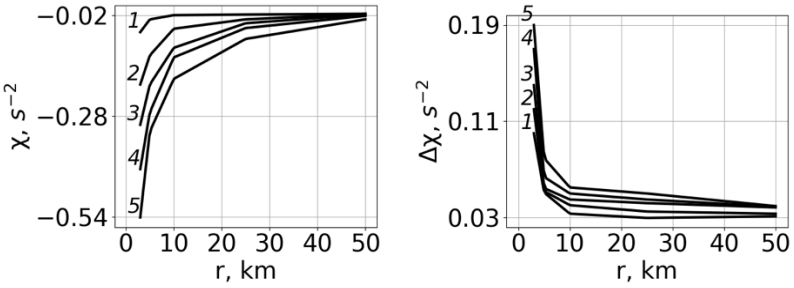
положение экстремума углового распределения голограммы χ приближается к началу координат. Одновременно рис.1 (б) демонстрирует, что ширина углового распределения голограммы $\Delta\chi$ многократно уменьшается. Также наблюдается, что ростом частоты источника координата экстремума углового распределения голограммы χ увеличивается по величине, а ширина углового распределения $\Delta\chi$ практически не изменяется, кривые рис. 1 (б) расположены очень плотно.

Рис. 2 демонстрирует зависимость от скорости источника положение экстремума углового распределения голограммы χ (а) и ширины углового распределения голограммы $\Delta\chi$ рис. 2 (б). Начальная дистанция до источника $r_0 = 10\,км$ и время наблюдения также составляет $\Delta t = 240c$. Как следует из представленных на графиках результатов, при увеличении скорости источника положение экстремума углового распределения голограммы χ удаляется от начала координат (рис. 2 (а)), а ширина углового распределения голограммы $\Delta\chi$ существенно увеличивается (рис. 2 (б)). По поведению семейства кривых следует отметить, что с ростом частоты излучения координата экстремума углового распределения голограммы χ увеличивается по величине. С ростом частоты ширина углового распределения $\Delta\chi$ увеличивается.

Семейство кривых на рис. 3 и рис. 4 соответствуют различному времени наблюдения (накопления информации), т.е. являются результатами исследования, проведенным выше, но с заменой построения семейства кривых не по набору частот излучения источником, а набору времени наблюдения. Рис. 3 дает информацию о зависимости от расстояния до источника экстремума углового распределения голограммы χ рис. 3 (а), ширины углового распределения голограммы $\Delta\chi$ рис. 3 (б). Скорость источника $v = 2\,м/c$, наблюдение в диапазоне частот 300-350 Гц. Увеличение времени накопления информации приводит к смещению абсолютного значения координаты экстремума углового распределения голограммы χ к началу координат, что также происходит с увеличением начального расстояния между источником и приёмником. С ростом времени наблюдения интерференционной картины ширина углового распределения голограммы $\Delta\chi$ рис. 3 (б) демонстрирует кратное её

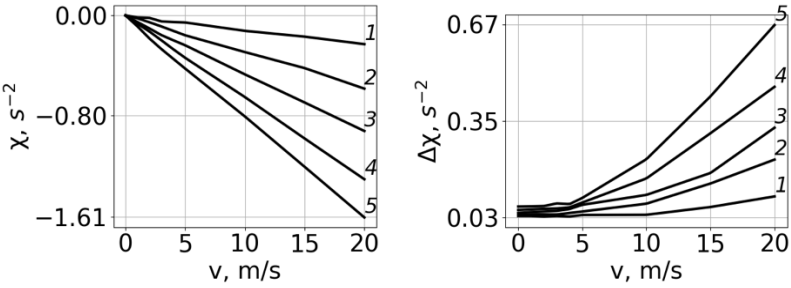
уменьшение, с ростом расстояния между источником и приёмником она уменьшается и группы кривых асимптотически сближаются.

И наконец рис. 4 показывает зависимость от скорости источника экстремума углового распределения голограммы χ рис. 4 (а), ширины углового распределения голограммы $\Delta\chi$ рис. 4 (б). При этом скорость движения источника принята $v = 2\,м/с$, наблюдение проводится в диапазоне частот 300-350 Гц. Есть все основания принять, что положение экстремума углового распределения голограммы χ рис. 4 (а) не зависит от времени наблюдения, кривые соответствующие различному времени наблюдения расположены плотно. Ширина углового распределения голограммы $\Delta\chi$ рис. 4 (б) демонстрирует кратное отличие в зависимости от времени наблюдения, большее время накопления информации уменьшает значение ширина углового распределения голограммы $\Delta\chi$. Необходимо отметить, что никакой асимптотики друг к другу в семействе кривых не проявляется.



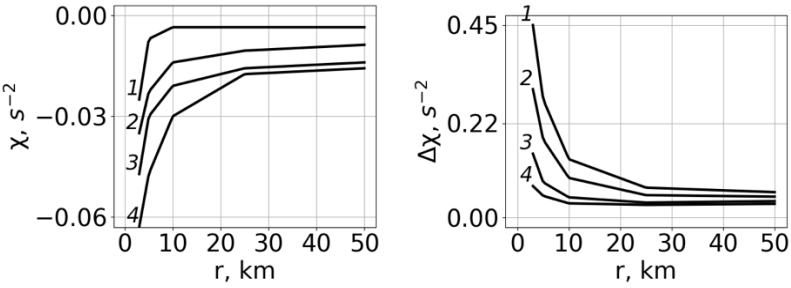
а б

Рис. 1. Зависимость от расстояния до источника экстремума углового распределения голограммы χ (а), ширины углового распределения голограммы $\Delta\chi$ (б). Источник движется со скоростью $v = 2\,м/с$, время наблюдения составляет $\Delta t = 240c$. Кривая 1: 100-150 Гц, кривая 2: 300-350 Гц, кривая 3: 500-550 Гц, кривая 4: 700-750 Гц, кривая 5: 900-950 Гц.



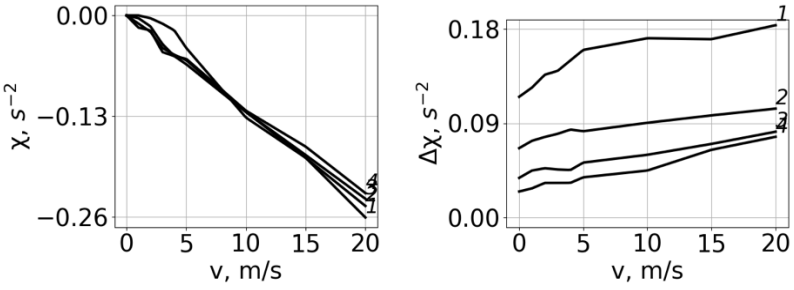
а б

Рис. 2. Зависимость от скорости источника экстремума углового распределения голограммы χ (а), ширины углового распределения голограммы $\Delta\chi$ (б). Источник на расстоянии $r_0 = 10$ *км* , время наблюдения составляет $\Delta t = 240$ *c* . Кривая 1: 100-150 Гц, кривая 2: 300-350 Гц, кривая 3: 500-550 Гц, кривая 4: 700-750 Гц, кривая 5: 900-950 Гц.



а б

Рис. 3. Зависимость от расстояния до источника экстремума углового распределения голограммы χ (а), ширины углового распределения голограммы $\Delta\chi$ (б). Источник движется со скоростью $v = 2$ *м*/*c* , наблюдение в диапазоне частот 300-350 Гц. Время наблюдения за объектом – кривая 1: $\Delta t = 30c$, кривая 2: $\Delta t = 60c$, кривая 3: $\Delta t = 120c$, кривая 4: $\Delta t = 240c$.



а б

Рис. 4. Зависимость от скорости источника экстремума углового распределения голограммы χ (а), ширины углового распределения голограммы $\Delta\chi$ (б). Источник движется со скоростью $v = 2\,м/с$, наблюдение в диапазоне частот 300-350 Гц. Время наблюдения за объектом – кривая 1: $\Delta t = 30c$, кривая 2: $\Delta t = 60c$, кривая 3: $\Delta t = 120c$, кривая 4: $\Delta t = 240c$.

Заключение

В работе представлены результаты анализа зависимости структуры 2D-голограммы источника в океаническом волноводе от полосы частот из диапазона 100 Гц – 1000 Гц и от времени наблюдения из диапазона 30 с – 240 с. Анализ проведён численно на основе модового описания акустического поля на случай однородного по глубине океанического волновода. Исследованы зависимости 2D-голограммы от полосы частот из диапазона 100 Гц – 1000 Гц и от времени наблюдения из диапазона 30 с – 240 с. Результаты численного эксперимента представлены в виде зависимостей положения и ширины максимума углового распределения 2D-голограммы.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-61-10024, https://rscf.ru/project/23-61-10024/

Список литературы

1. Кузнецов, Г.Н. Спектрограмма и локализация источника звука в мелком море / Кузнецов Г.Н., Кузькин В.М., Пересёлков С.А. // Акуст. журн. 2017. Т. 63. № 4. С. 406-418.

2. Казначеев, И.В. Интерферометрический метод обнаружения движущегося источника звука векторно-скалярным приемником /

Казначеев И.В., Кузнецов Г.Н., Кузькин В.М., Пересёлков С.А. // Акуст. журн. 2018. Т. 64. № 1. С. 33-45.

3. Пересёлков, С.А. Голографическая обработка широкополосных гидроакустических сигналов / Пересёлков С.А., Кузькин В.М. // Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. 183 с.

4. Казначеева, Е.С. Оценка дальности обнаружения малогабаритного подводного аппарата по его шумовому полю / Казначеева Е.С., Кузькин В.М., Матвиенко Ю.В., Пересёлков С.А., Хворостов Ю.А. // Подводные исследования и роботехника. 2021. № 4 (38). С. 80-85.

5. Кузькин, В.М. Предельная дальность обнаружения подводного шумового источника с применением голографической обработки / Кузькин В.М., Пересёлков С.А., Грачев В.И., Рыбянец П.В., Ткаченко С.А. // РЭНСИТ. 2024. Т. 16. № 1. С. 129−136. DOI: 10.17725/rensit.2024.16.129.

6. Кузькин, В.М. Обнаружение источника в диспергирующих средах / Кузькин В.М., Пересёлков С.А., Матвиенко Ю.В., Ткаченко С.А. // РЭНСИТ. 2019. Т. 11. № 3. С. 337-344. DOI: 10.17725/rensit.2019.11.337.

7. Kuz'kin, V.M. Noise-source detection in an oceanic waveguide using interferometric processing / Kuz'kin V.M., Lyakhov G.A., Pereselkov S.A., Matvienko Yu. V., Tkachenko S.A. // Phys. Wave Phenom. 2020. V. 28. N. 1. P. 68−74.

8. Kuz'kin, V.M. Resolving power of the interferometric method of source localization / Kuz'kin V.M., Kuznetsov G.N., Pereselkov S.A., Grigor'ev V.A. // Phys. Wave Phenom. 2018. Vol. 26. No. 2. P. 150-159.

9. Кузькин В.М. Разрешение шумовых сигналов при наличии случайных неоднородностей океанической среды / Кузькин В.М., Пересёлков С.А., Грачев В.И., Рыбянец П.В., Ткаченко С.А. // РЭНСИТ. 2024. Т. 16. № 3. С. 395−406.

10. Kuz'kin, V.M. Interferometric direction finding by a vector-scalar receiver / Kuz'kin V.M., Pereselkov S.A., Kuznetsov G.N., Kaznacheev I.A. // Phys. Wave Phenom. 2018. Vol. 26. No. 1. P. 63-73.

11. Kuznetsov, G.N. Direction finding of a noise sound source / Kuznetsov G.N., Kuz'kin V.M., Lyakhov G.A., Pereselkov S.A., Prosovetskiy D.Yu. // Phys. Wave Phenom. 2019. Vol. 27. No. 3. P. 237−241.

12. Pereselkov, S.A. Interferometric processing of hydroacoustic signals for the purpose of source localization / Pereselkov S.A., Kuz'kin V.M. // J. Acoust. Soc. Am. 2022. Vol. 151. No. 2 P. 666−676.

13. Кузькин, В.М. Голографическая обработка движущихся источников в мелком море при наличии интенсивных внутренних волн /

Кузькин В.М., Пересёлков С.А., Казначеева Е.С., Грачев В.И., Ткаченко С.А., Рыбянец П.В. // РЭНСИТ. 2022. Т. 14. № 2. С. 197-204. DOI: 10.17725/rensit.2022.14.197.

14. Ehrhardt, M. Experimental observation and theoretical analysis of the low-frequency source interferogram and hologram in shallow water / Ehrhardt M., Pereselkov S., Kuz'kin V., Kaznacheev I., Rybyanets P. // Sound and Vibration. 2023. Vol. 544. P. 117388.

15. Кузькин, В.М. Голографический метод локализации движущегося источника звука в присутствии интенсивных внутренних волн / Кузькин В.М., Пересёлков С.А., Грачев В.И., Ткаченко С.А., Ладыкин Н.В., Куцов М.В.// РЭНСИТ. 2023. Т. 15. № 3. С. 317–326.

16. Pereselkov, S. The formation of 2D holograms of a noise source and bearing estimation by a vector scalar receiver in the high-frequency band / Pereselkov S., Kuz'kin V., Ehrhardt M., Matvienko Yu., Tkachenko S., Rybyanets P. // J. Mar. Sci. Eng. 2024. Vol. 12. P. 704.

17. Беседина, Т.Н. Определение глубины источника звука в мелком море на фоне интенсивного шума / Беседина Т.Н., Кузнецов Г.Н., Кузькин В.М., Пересёлков С.А. // Акуст. журн. 2015. Т. 61. № 6. С. 718-728.

18. Kuznetsov, G.N. Wave method for estimating the sound source depth in a oceanic waveguide / Kuznetsov G.N., Kuz'kin V.M., Pereselkov S.A., Prosovetskiy D.Yu. // J. Phys. Wave Phenom. 2016. Vol. 24. No. 4. P. 310-316.

19. Kaznacheeva, E.S. Measurement capability of the interferometric method of sound source localization in the absence of data on the waveguide transfer function / Kaznacheeva E.S., Kuznetsov G.N., Kuz'kin V.M., Lyakhov G.A., Pereselkov S.A. // Phys. Wave Phenom. 2019. Vol. 27. No. 1. P. 73-78.

20. Kaznacheeva, E.S. Adaptive algorithms for interferometric processing / Kaznacheeva E.S., Kuz'kin V.M., Lyakhov G.A., Pereselkov S.A., Tkachenko S.A. // Phys. Wave Phenom. 2020. Vol. 28. No. 3. P. 267–273.

21. Бреховских, Л.М. Теоретические основы акустики океана / Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. // М.: Наука, 2007. 370 с.

Моделирование влияния ветровой нагрузки на параметры полета беспилотного летательного аппарата коптерного типа

С. В. Беспалов, email: antonn58@ya.ru
А. И. Тищенко, email: aleksei.tishenko@yandex.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В статье рассматриваются результаты имитационного и натурного моделирование зависимости летных характеристик БпЛА коптерного типа от параметров ветра.*

Ключевые слова: *Моделирование, квадрокоптер, крен, тангаж, ультразвуковой датчик параметров ветра.*

Введение

Проведенный анализ современных источников информации, касающихся влияния ветра на полет БпЛА [1,2,3], показал, что многие из авторов математических моделей, связанных с динамикой полета коптера в свободной атмосфере, принимают силу сопротивления воздуха и скорость ветра равными нулю. Что, на наш взгляд не совсем соответствует действительности.

1. Математическое обоснование имитационного моделирования

Математической основой имитационного моделирования является уравнение динамики вертикального полета БпЛА, общий вид которого в проекции на оси вектора тяги, предсталенного на рис. 1, имеет вид:

$$T_t + P_W + P_i + G = 0 \qquad (1)$$

где T_t – суммарная сила тяги развиваемая воздушными винтами БпЛА, P_W – обозначает силу лобового сопротивления, действующую на квадрокоптер, P_i – сила инерции, G – взлетный вес беспилотного летательного аппарата.

Учет влияния параметров ветра (скорости и направления ветра) на полет БпЛА осуществлялся через проекцию силы лобового сопротивления P_w, определяемую выражением

$$P_W = C(\gamma)\frac{\rho\upsilon}{2}S(\gamma) \qquad (2)$$

© Беспалов С. В., Тищенко А. И., 2025

где ρ – плотность воздуха в точке измерения, υ – проекция линейной скорости мультикоптера на соответствующую ось, $S(\gamma)$ – обозначает площадь, подверженную воздействию набегающего ветра, как функция угла квадрокоптера (γ), $C(\gamma)$ – безразмерный коэффициент лобового (аэродинамического) сопротивления, учитывающий обтекаемость, функция угла квадрокоптера.

Стоит отметить, что угол на γ (рис. 1) является комбинацией двух углов Эйлера: крена φ и тангажа θ, т.е.

$$\gamma = f(\varphi, \theta) \tag{3}$$

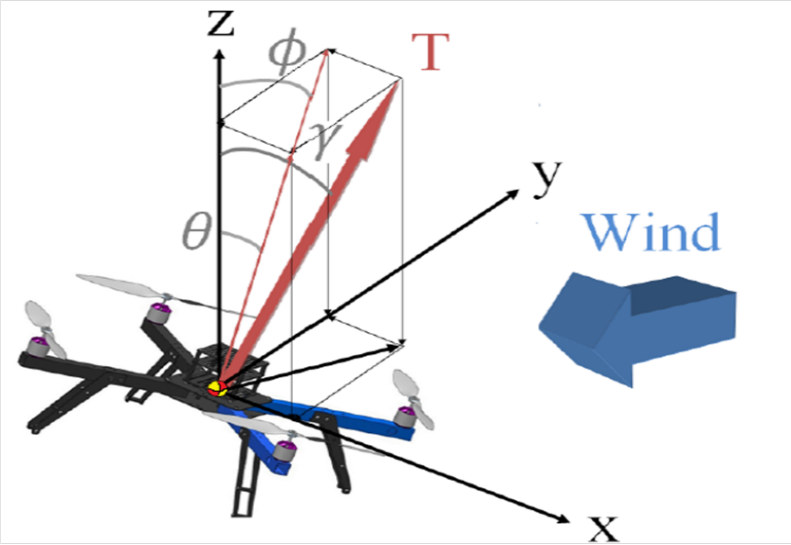


Рис. 1. Схема квадрокоптера. Наклон в сторону наибольшего лобового сопротивления

С помощью оценки ориентации мультикоптера (телеметрия инерциальной системы) эти два угла (вместе с третьим углом рыскания Эйлера ψ) известны, что позволяет также оценить направление ветра. В работах [4,5] и других предложен метод определение параметров ветра с помощью квадрокоптера, точнее на основе раскрытия телеметрии автопилота.

2. Моделирование ветровых нагрузок

Используя алгоритмы динамики и управления полетом, изложенных в работах [6-9], в среде National Instruments и Matlab смоделирован полет коптера при воздействии на него ветровой нагрузки. Ввод параметров ветра осуществлялся с виртуального ультразвукового датчика параметров ветра созданного в программе LabView (рис. 2). Выходные данные о ветре передавались в среду моделирования Matlab.

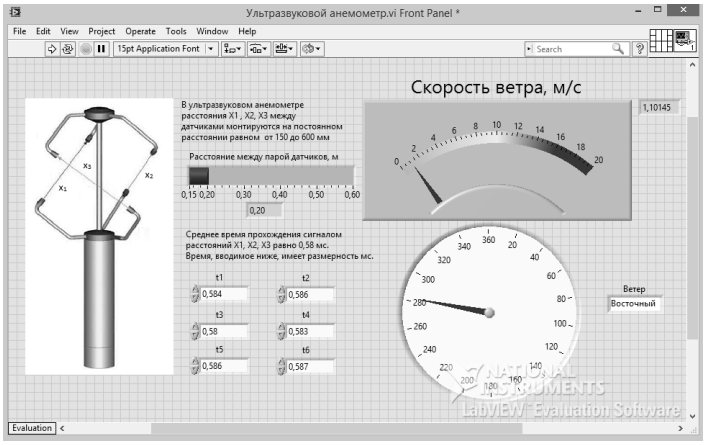


Рис. 2. Виртуальный прибор, моделирующий работу ультразвукового датчика параметров ветра

На рис. 2 представлена лицевая панель, моделирующая принцип работы ультразвукового датчика параметров ветра, роль которого в анемометрах выполняют пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП). Они попеременно работают как звуковыми излучателями, так и приемниками. Приемо-передатчики расположены в трех плоскостях под углом 120 градусов относительно друг друга и под углом 45 градусов в вертикальной плоскости. Такое расположение ПЭП позволяет вычислять не только горизонтальную скорость и направление ветра, а также вертикальную компоненту скорости ветра по измеренным значениям скорости вдоль каждой из пар датчиков. Смоделированный прибор позволяет определять как скорость ветра, так и направление. Индикация направления ветра выполнена как в виде информационной строки, так и в виде стрелочного указателя направления ветра в градусах. Сгенерированные параметры ветра передавались в среду моделирования Matlab, где было реализовано несколько имитационных

тестов, чтобы показать влияние различных ветровых нагрузок. Объединив оба имитационных устройства мы задавали параметры ветра (направление и скорость) и фиксировали параметры квадрокоптера. На рис. 3, 4 отражен момент взлета и пространственное положение квадрокоптера с такими параметрами как: линейное смещение, линейная скорость, угловое смещение, угловая скорость и угловые скорости вращения каждого двигателя для скоростей встречного ветра 4 м/с и 15 м/с, соответственно.

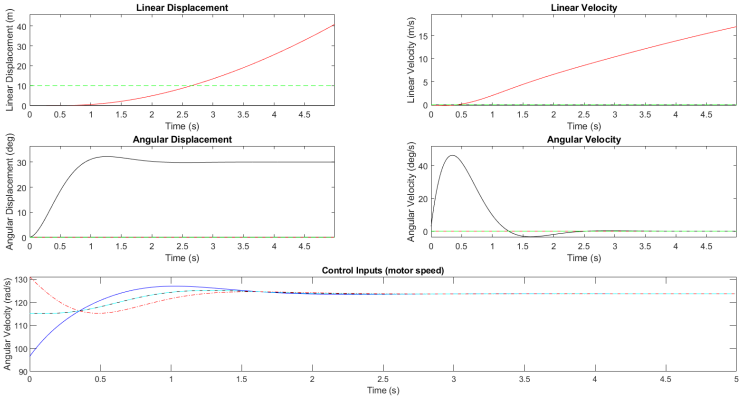


Рис. 3. Параметры полета квадрокоптера при скорости встречного ветра 4 м/с

В работах [1,2,6] проведены исследования обосновывающие компенсирующий наклон мультикоптера в сторону наибольших ветровых нагрузок. Наше исследование также подтверждает эти выводы (на рис. 4 угловое смещение и угловая скорость заметно больше, чем на рис. 3). При увеличении скорости ветра на 10 м/с время стабилизации увеличилось в 2 раза. Следует отметить, что за счет работы полетного контроллера линейное перемещение и скорость удалось сохранить. Однако, это привело к увеличению не только тангажа, но и скорости его изменения. Угловые скорости двигателей были увеличены в среднем в три раза (с 95 – 130 до 330 – 420 рад/с). Маневрирование осуществлялось 1 и 3 двигателями, т.к. 2 и 4 – имели одинаковые угловые скорости.

3. Анализ результатов

После этапа имитационного моделирования выполнен натурный эксперимент на собранной установке (рис. 5). Объединив 2 устройства (рис. 5а, 5 б) в одном лабораторном стенде мы задавали параметры ветра

(направление и скорость) и фиксировали положение квадрокоптера. С помощью вентилятора и ультразвукового датчика параметров ветра (рис. 5а) генерировались различные значения направления и скорости ветра, которые воздействовали на квадракоптер (рис. 5 б) с которого снимались летные характеристики.

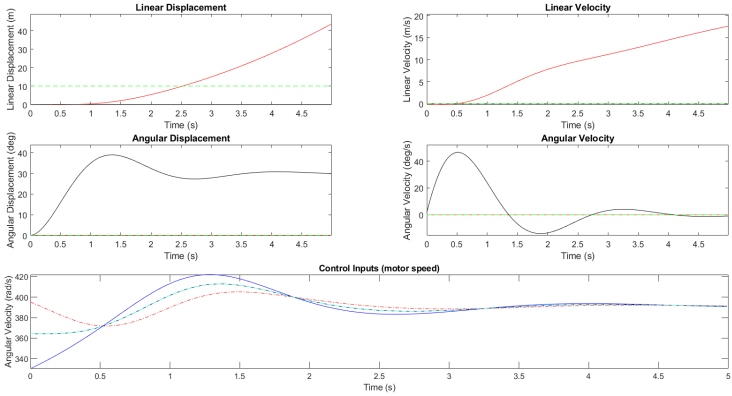


Рис. 4. Параметры полета квадрокоптера при скорости встречного ветра 15 м/с

Общий объем выборки натурного эксперимента составил 100 случаев с разными значениями направления и скорости ветра. В итоге можно сделать вывод, что результаты натурного эксперимента подтверждают результаты имитационного моделирования.



а *б*

Рис. 5. Экспериментальная установка

Заключение

Понимая физику сопротивления ветра и то, как он влияет на мультикоптеры, операторы могут обеспечить безопасную и эффективную работу. Используя комбинацию пропеллеров, аэродинамических поверхностей и крыльев, операторы могут уменьшить сопротивление, создаваемое ветром, и гарантировать, что их дроны останутся стабильными и эффективными в любых условиях.

Список литературы

1. Craig, W., Yeo D. and Paley D. A. Geometric control of a quadrotor in wind with flow sensing and thrust constraints: Attitude and position control. // Submitted to IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2019. P. 324-342.
2. Yeo, D. W., Onboard flow sensing for multi-rotor pitch control in wind / D. W. Yeo, N. Sydney, D. A. Paley //Journal of Guidance, Control and Dynamics. – Vol. 41, (5). – 2018. P. 1193–1198.
3. Лысухо, Г.В. Квадрокоптер: динамика и управление. / Г.В. Лысухо, А.Л. Масленников // Политехнический молодежный журнал. – 2020. № 05(46). Режим доступа: http://dx.doi.org/ 10.18698/2541-8009
4. Wetz, T. Distributed wind measurements with multiple quadrotor unmannedaerial vehicles in the atmospheric boundary layer. / T. Wetz, N. Wildmann, F. Beyrich // Institut für Physik der Atmosphäre, Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg. Richard-Aßmann-Observatorium, Lindenberg, 2019.– P. 125-134.
5. Karpunin, A.A., Titkov I.P. Evaluation of the influence of cross-connections accounting in the simplified mathematical model of the quadrotor motion in three-dimensional space. / A.A. Karpunin, I.P. Titkov / Procedia Comput. Sci., 2019, vol. 150, P. 663–670. Режим доступа: https://doi.org/ 10.1016/ j.procs.2019.02.040
6. Quan, Q. Multicopter Design and Control Practice. / Q. Quan , D. Xunhua, W. Shuai // Publishing House of Electronics Industry 2020. Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-981-15-3138-5

О форме кривой динамической модели разностного индекса

А.Г. Буховец, e-mail: abuhovets@gmail.ru
Е.А. Семин, e-mail: 113ghz@mail.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I

Аннотация. *В данной работе исследуется вопрос о классе функций, представляющих динамическую модель разностного вегетационного индекса NDVI для посевов озимой пшеницы. Параметры предложенной модели оценивались по данным NDVI, полученным в результате дистанционного зондирования Земли, показали вполне адекватные результаты для посевов озимой пшеницы в ЦФО на полях с различными уровнями урожайности. Вопрос о форме кривой модели является актуальным в связи использованием метода наименьших квадратов для оценки параметров модели. Полученная модель может быть использована для прогнозирования сроков начала уборки и урожайности.*

Ключевые слова: *математическое моделирование биологических процессов, гамма-функции, вегетационный индекс NDVI, прогноз урожайности.*

Введение

Основная цель данной работы заключается в установлении формы кривой, аппроксимирующей динамику разностного индекса. Актуальность этой проблемы связана с использованием параметрической формы метода наименьших квадратов для построения модели. Как известно, в этом случае вид зависимости постулируется, а значения параметров определяются из условия минимизации суммы квадратов отклонений [2]. При этом ошибка в выборе формы зависимости не может быть компенсирована увеличением объема данных.

Некоторые авторы предлагают в качестве кривой динамической модели NDVI кривую нормального распределения, например, [5, 6]. По-видимому, это связано с тем, что эта кривая безусловно является унимодальной. Кроме того, часто апеллируют к предельным теоремам закона больших чисел. Однако, как показывают данные, полученные в ходе дистанционного зондирования Земли [7, 9], кривая, аппроксимирующая эти данные отличается от нормального

© Буховец А. Г., Семин Е. А., 2025

распределения. В первую очередь в глаза бросается несимметричность кривой относительно моды распределения.

Оговоримся сразу: в этой работе мы рассматриваем данные такой с/х культуры как озимая пшеница – просто ввиду отсутствия данных о других культурах. Хотя в представленной модели специфика культуры не отражена и модель может быть дополнена с учетом особенностей других культур.

1. Особенности динамической модели NDVI

При построении динамической модели NDVI [3], существенно использовались экспериментально установленные физиологические свойства единичного растения [1, 5, 12].

Предложенная нами динамическая модель [7] в своей основе представлена уравнением

$$Y(t) = Ct^{\beta}e^{-\alpha t}, \tag{1}$$

где $Y(t)$ – значение вегетационного индекса NDVI, достигнутое в момент времени t; α – константа, характеризующая процесс роста пластических веществ; β – константа/параметр, характеризующая скорость роста зелёной массы. При выводе уравнения, как следует из физиологических особенностей растений, эта величина со временем будет убывать; C – константа интегрирования. Нормирование интеграла функции $Y(t)$ на единицу, позволяет в дальнейшем рассматривать эту функцию как связанную с плотностью некоторой случайной величины.

Данное уравнение было получено в предположении, что скорость изменения индекса NDVI пропорциональна уже достигнутому уровню вегетационного индекса к моменту времени t и некоторой функции, которая представляет собой разность значения (β / t) и параметра α. Такая форма зависимости ассоциируется с уравнением Ферхюльста [8], представляющего динамику роста в ограниченных условиях.

2. О классе функций динамической модели NDVI

Класс кривых модели NDVI, на наш взгляд, можно отнести к множеству гамма-плотностей, который определяется заданием на неотрицательном полуинтервале следующей формулой [10, т.2, С.66]:

$$f_{b,a}(t) = \frac{a^b}{\Gamma(b)} x^{b-1} e^{-ax}, \tag{2}$$

где $\Gamma(*)$ – гамма-функция [2].

Сравнивая выражения (1) и (2) нетрудно заметить, что с точностью до обозначений уравнение динамической модели NDVI можно выразить через гамма-плотность. Действительно, если ввести следующие обозначения

$$C = \frac{a^b}{\Gamma(b)}; \qquad \beta = b - 1; \qquad x = t, \tag{3}$$

то уравнение (2) примет вид (1). Таким образом с точностью до обозначений можно считать, что динамические модели NDVI представлены функциями класс гамма-функций.

Будем в дальнейшем рассматривать кривую NDVI как результат суммирования некоторого количества кривых значений вегетационного индекса множества отдельных растений, попадающих в окно камеры прибора мониторинга. При этом будем предполагать, что каждое отдельно взятое растение может быть представлено динамической моделью (1), описывающей плотность случайной величины, связанной с параметрами роста растения. Тогда совокупность растений, попадающих в окно сканера при съёмке показателя NDVI, будут представлять сумму таких одинаково распределенных случайных величин. При этом будем предполагать, что в условиях выбранного объекта (данного поля) все растения будут одного сорта, и, поэтому, значения параметра a в модели будет одинаковыми.

Будем полагать, что $Y_1(t) \approx f_{b1,a}(t)$ и $Y_2(t) \approx f_{b2,a}(t)$ модели, соответствующие двум разным растениям на одном и том же поле, которые одновременно попадают в растр снимающей NDVI камеры. В этом случае плотность суммы двух случайных величин $Y_1(t) + Y_2(t)$ будет представлена свёрткой соответствующих плотностей, т.е.

$$f_{b1,a}(t) = \frac{a^{b1+1}}{\Gamma(b1+1)} t^{b1} e^{-at}, \quad f_{b2,a}(t) = \frac{a^{b2+1}}{\Gamma(b2+1)} t^{b2} e^{-at}. \tag{4}$$

В конкретном случае $x \geq 0$ плотность этой суммы может быть выражена сверткой плотностей [10, т.2, 67].

В данном случае будем иметь

$$(f_{b1,a}(t) * f_{b2,a}(t)) = \frac{a^{b1+b2+2} e^{-at}}{\Gamma(b1+1)\Gamma(b2+1)} \int_0^t (t-\tau)^{b1} \tau^{b2} d\tau. \tag{5}$$

После замены переменной $\tau = tz$, $d\tau = tdz$ и соответствующих пределов интегрирования получим

$$\int_0^1 (1-z)^{b1} z^{b2} dz = B(b1+1;b2+1) = \frac{\Gamma(b1+1)\Gamma(b2+1)}{\Gamma(b1+b2+2)}, \qquad (6)$$

где $B(b1+1, b2+1)$ – бета-функция [10, т.2, С.67].

Тогда после подстановки (3) получим

$$(Y_1(t)+Y_2(t)) \approx \frac{a^{b1+b2+2} e^{-at}}{\Gamma(b1+1)\Gamma(b2+1)} t^{b1+b2+1}, \qquad (7)$$

что соответствует гамма-функции с параметрами $b1+b2+2$ и a.

Таким образом сумма двух моделей разностного индекса NDVI, представленных уравнением (1), будет также представлена моделью того же класса, в основе которой лежит гамма-функция. Математически эти результаты можно сформулировать следующим образом:

- множество гамма-распределений замкнуто относительно операции свёртки;
- гамма-распределения бесконечно делимы [4].

Заключение

Эти свойства позволяют утверждать, что если рассматривать значения индекса NDVI как конечную сумму случайных величин, имеющих гамма-распределения, то и суммарное распределение будет принадлежать также к классу гамма-распределений (2). Этот вывод является принципиальным при выборе формы кривой, параметры которой в последствии оцениваются методом наименьших квадратов [11] с помощью пакета STATISTICA. Полученная модель была использована для прогнозирования сроков начала уборки и урожайности [9].

Список литературы

1. Thornley, J. H. M. Mathematical models in plant physiology/ J.H.M. Thornley – Academic Press, 1976, – 312 p.

2. Айвазян, С. А. Методы эконометрики/ С.А. Айвазян// М.: Магистр, 2010, 512 с.

3. Буховец, А. Г. Прогнозирование урожайности зерновых культур с помощью динамической модели нормализованного относительного индекса растительности, учитывающей физиологические особенности развития сельскохозяйственных растений / А. Г. Буховец, М. В. Кучеренко, Е. А. Семин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14, № 3(70). – С. 93-104. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2021_3_93.

4. Гнеденко, Б.В. Курс теории вероятностей / Гнеденко Б.В. – М.-Л.: 1950, 387 с.

5. Использование вегетативного индекса NDVI для прогноза урожайности зерновых культур / С. А. Родимцев [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4(65). – С. 56-67. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-65-4-56-67.

6. Михайленко, И.М. Математическое моделирование роста растений на основе экспериментальных донных /И.М. Михайленко //Сельскохозяйственная биология. 2007. – №1. – С.103–111.

7. Моделирование, динамики вегетационного индекса NDVI озимой пшеницы в условиях ЦФО / А. Г. Буховец [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2(57). – С. 186-199. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2018.2.186.

8. Ризниченко, Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. Часть 1 / Г.Ю. Ризниченко. – Ижевск, 2002. – 232 с.

9. Семин, Е.А. Использование индекса NDVI в прогнозных задачах / Е.А. Семин, А. Г. Буховец // Актуальные вопросы устойчивости АПК и сельских территорий: матер. всероссийской науч.–практич. конф. Воронеж, 4 дек. 2017 г. Воронеж: ФГБОУ ВО ВГАУ, 2017. – С. 39–43.

10. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и её приложения. В 2-т./ В. Феллер //М.: Мир, 1984.

11. Халафян, А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А.А. Халафян. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2010. – 528 с.

12. Шатилин, И. С. Математическая модель фотосинтетической деятельности посева озимой пшеницы/ Шатилов И.С., А.М. Замараев //Известия ТСХА, вып.2, 1987, С.31-39.

Анализ характеристик и применения авиационных преобразователей электроэнергии

С. В. Вещеулова, email: svetlana_vesh1976@mail.ru
С. Н. Разиньков, email: razinkovsergey@rambler.ru
А. В. Вещеулов, email: dtotekjd@yandex.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В статье приведен анализ применяемых в авиации бортовых вторичных источников электроэнергии, представлены их основные характеристики.*

Ключевые слова: *преобразователи электроэнергии, машинный преобразователь, статический преобразователь.*

Введение

Наряду с основными источниками электроэнергии постоянного и переменного токов, которыми на воздушных судах являются генераторы, также применяются преобразователи электроэнергии, преобразующие постоянный ток в переменный.

По устройству преобразователи подразделяют на электромашинные и статические, по количеству фаз на основные и трехфазные преобразователи, по уровню напряжения вырабатывающие 208 В, 115 В и 36 В [1].

В преобразователях российского производства приняты следующие условные обозначения: П – преобразователь, О – однофазный, Т – трехфазный, С – статический, Ц – для централизованного питания самолетных потребителей, ПЧ – постоянной частоты, цифра после дефиса – выходная мощность.

1. Преобразователи однофазные

Преобразователи однофазные типа ПО предназначены для преобразования постоянного тока напряжением 27 В в однофазный переменный ток напряжением 115 В и частотой 400 Гц. Данные преобразователи включают в себя электромашинный агрегат и коробку управления.

Электромашинный агрегат выполнен в едином корпусе и на одном валу. В его состав входят двигатель постоянного тока и синхронный генератор. Коробка управления расположена на корпусе

© Вещеулова С. В., Разиньков С. Н., Вещеулов А. В., 2025

электромашинного агрегата. В ее состав включены элементы запуска, а также элементы системы автоматической стабилизации выходного напряжения и частоты переменного тока преобразователя [2].

Параметры однофазных машинных преобразователей.

Преобразователь однофазный ПО-500:
- напряжение питания – 27 В;
- выходное напряжение – 115 В;
- отдаваемая мощность – 500 В·А;
- частота выходного напряжения – 400 Гц;
- масса – 12,5 кг;
- удельная мощность – 40 В·А/кг.

Преобразователь однофазный ПО-750:
- напряжение питания – 27 В;
- выходное напряжение – 115 В;
- отдаваемая мощность – 750 В·А;
- частота выходного напряжения – 400 Гц;
- масса – 14,8 кг;
- удельная мощность – 50,7 В·А/кг.

Преобразователь однофазный ПО-1500:
- напряжение питания – 27 В;
- выходное напряжение – 115 В;
- отдаваемая мощность – 1500 В·А;
- частота выходного напряжения – 400 Гц;
- масса – 23,5 кг;
- удельная мощность – 63,8 В·А/кг.

Преобразователь однофазный ПО-3000:
- напряжение питания – 27 В;
- выходное напряжение – 115 В;
- отдаваемая мощность – 3000 В·А;
- частота выходного напряжения – 400 Гц;
- масса – 37,1 кг;
- удельная мощность – 80,9 В·А/кг.

Преобразователь однофазный ПО-4500:
- напряжение питания – 27 В;
- выходное напряжение – 115 В;
- отдаваемая мощность – 4500 В·А;
- частота выходного напряжения – 400 Гц;
- масса – 47 кг;
- удельная мощность – 95,7 В·А/кг.

Преобразователь однофазный ПО-6000:
- напряжение питания – 27 В;

– выходное напряжение – 115 В;
– отдаваемая мощность – 6000 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 60 кг;
– удельная мощность – 100 В·А/кг.

2. Преобразователи трехфазные

Преобразователи трехфазные типа ПТ, ПАГ предназначены для преобразования постоянного тока напряжением 27 В в трехфазный переменный напряжением 36 В частотой 400 Гц. Они включают в себя электромашинный агрегат и коробку управления. Электромашинный агрегат выполнен в едином корпусе на одном валу и включает в себя двигатель постоянного тока и синхронный генератор. Коробка управления расположена на корпусе электромашинного агрегата. В ее состав включены элементы запуска, а также элементы системы автоматической стабилизации выходного напряжения и частоты переменного тока преобразователя.

Трехфазные преобразователи типа ПТ изготавливаются мощностью от 70 до 6000 В·А. Преобразователи типа ПТ мощностью до 200 В·А имеют возбуждение генераторов от постоянных магнитов [1].

Параметры трехфазных машинных преобразователей.

Преобразователь ПАГ-1:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 40,5 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 2,5 кг;
– удельная мощность – 16 В·А/кг.

Преобразователь ПТ-70:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 70 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 4,2 кг;
– удельная мощность – 16,6 В·А/кг.

Преобразователь ПТ-125:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 125 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 5,2 кг;
– удельная мощность – 24 В·А/кг.

Преобразователь ПТ-200:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 200 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 8,5 кг;
– удельная мощность – 23,5 В·А/кг.
Преобразователь ПТ-500:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 500 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 15 кг;
– удельная мощность – 33,3 В·А/кг.
Преобразователь ПТ-1000:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 1000 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 20 кг;
– удельная мощность – 50 В·А/кг.
Преобразователь ПТ-1500:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 1500 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 27 кг;
– удельная мощность – 55,5 В·А/кг.
Преобразователь ПТ-3000:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 208 В;
– отдаваемая мощность – 3000 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 43 кг;
– удельная мощность – 69,8 В·А/кг.
Преобразователь ПТ-6000:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 208 В;
– отдаваемая мощность – 5300 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 53 кг;

– удельная мощность – 113,2 В·А/кг.

Трехфазные преобразователи типа ПАГ (ПАГ–1Ф, ПАГ–1ФП и др.) по принципу действия и устройства аналогичны преобразователям типа ПТ малой мощности. У преобразователей серий ПАГ и ПТ малой мощности (например, ПТ-125Ц) регулирование напряжения не осуществляется, так как они рассчитаны на постоянную нагрузку. Стабилизация частоты вращения ротора преобразователей осуществляется или с помощью центробежного регулятора (ПТ-70) или с помощью напряжения, подаваемого на обмотку управления двигателя.

Основным эксплуатационным недостатком преобразователей типа ПАГ и ПТ с возбуждением от постоянных магнитов является размагничивание магнитов при возникновении коротких замыканий в сети [3].

3. Статические преобразователи

Статические преобразователи типа СПО предназначены для преобразования постоянного тока напряжением 27 В в переменный однофазный ток напряжением 36 В частотой 400 Гц. Служат для питания манометров типа ДИМ (дистанционный индукционный манометр). Данные преобразователи имеют два канала: основной и резервный, состоящих из задающего генератора, выполненного на транзисторах и усилителя мощности.

Преобразователи статические типа ПТС предназначены для преобразования постоянного тока напряжением 27 В в переменный трехфазный напряжением 36 В и 115 В частотой 400 Гц. Включают в себя несколько унифицированных блоков:

– блок силовых транзисторов и трансформаторов;

– блок стабилизации напряжения цепей управления и элементы схемы управления силовой части регулятора;

– блок управления пуском преобразователя, защиты от короткого замыкания, перегрузок, перенапряжения;

– блок силовых инверторов;

– блок задающего генератора, предназначенного для точной стабилизации частоты выходного напряжения.

Трехфазные статические преобразователи типа ПТС изготавливаются мощностью 25-800 В·А. Они используются на ЛА в качестве вторичных источников электропитания [1].

Параметры трехфазных статических преобразователей.

Преобразователь ПТС-25:

– напряжение питания – 27 В;

– выходное линейное напряжение – 36 В;

– отдаваемая мощность – 25 В·А;

– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 1,9 кг;
– удельная мощность – 13,2 В·А/кг.

Преобразователь ПТС-250:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 250 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 8,5 кг;
– удельная мощность – 29,4 В·А/кг.

Преобразователь ПТС-500:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное линейное напряжение – 36 В;
– отдаваемая мощность – 500 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 17 кг;
– удельная мощность – 29,4 В·А/кг.

Преобразователь ПТС-800:
– напряжение питания – 27 В;
– выходное фазное напряжение – 115 В;
– отдаваемая мощность – 800 В·А;
– частота выходного напряжения – 400 Гц;
– масса – 19,3 кг;
– удельная мощность – 41,5 В·А/кг.

Сопоставив характеристики применяемых преобразователей, получаем зависимости удельных мощностей преобразователей ($S_{yд}$, [В·А/кг]) от массы преобразователей (m, [кг]), приведенных на рисунке.

Из приведенных на рисунке зависимостей следует:

– преобразователи серии ПТС сопоставимы с преобразователями серии ПТ на малых мощностях по удельной мощности ($S_{уд}$), а с увеличением мощности проигрыш по удельной мощности ($S_{уд}$) преобразователей серии ПТС по сравнению с преобразователями серии ПТ составляет 20-25%;

– преобразователи серии ПО и ПТ по удельной мощности сопоставимы, их совместное применение на борту воздушного судна обусловлено разнообразием потребителей.

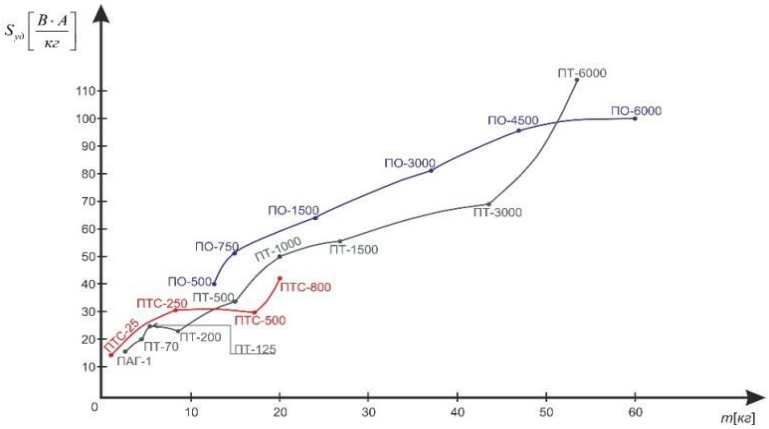


Рисунок. Зависимость удельных мощностей преобразователей от их массы $S_{уд} = f(m)$

Заключение.

Таким образом, машинные преобразователи хоть и имеют щеточно-контактные узлы, снижающие надежность и усложняющие эксплуатацию преобразователей, тем не менее остаются в составе бортового оборудования, так как имеют наиболее выгодные массогабаритные характеристики в пересчете на единицу мощности, что делает их пригодными для использования в составе бортового авиационного оборудования в качестве вторичных источников электропитания.

Статические преобразователи целесообразно использовать при питании электропотребителей малой мощности, так как при малых мощностях статические преобразователи сопоставимы с машинными по массогабаритным показателям в пересчете на единицу мощности. Но при этом являются наиболее надежными, долговечными и простыми в изготовлении и эксплуатации.

Список литературы

1. Барвинский, А. П. Электрооборудование самолетов / А. П. Барвинский, Ф. Г. Козлова. – М.: Транспорт, 1990. – 320 с.

2. Грузков, С. А. Электрооборудование летательных аппаратов. Том 1. Системы электроснабжения летательных аппаратов / С. А. Грузков. – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 568 с.

3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. / А.А. Чунихин М. Энергоатомиздат, 1988.

Имитационное моделирование в среде Anylogic сети широкополосных радиорелейных радиостанций функционирующих в условиях помех

А. А. Воронов, e-mail: raven.vrn@mail.ru
А. А. Молев, e-mail: alexei_molev@mail.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В среде Anylogic разработана имитационная модель сети широкополосных радиорелейных радиостанций, функционирующих в условиях помех. Имитационная модель разработана с применением агентного подхода на основе декомпозиции сети радиосвязи на отдельные функциональные элементы. Исходными данными для моделирования являются пространственные, частотные и энергетические характеристики радиостанций и источников помех, алгоритмы адаптации сети связи к сигнально-помеховой обстановке. Выходными показателями эффективности приняты пропускная способность системы связи, времена задержки передачи данных в направлениях и на узлах связи.*

Ключевые слова: *имитационная модель, широкополосная радиорелейная радиостанция, сеть радиостанций, сеть передачи данных, Anylogic, агентное моделирование, WiMAX.*

Введение

Развитие современных средств связи и передачи данных происходит параллельно с ростом потребной пропускной способности. Для этого применяются высокоскоростные широкополосные сети радиосвязи как для стационарных, так и для мобильных абонентов использующие современные технологии связи, такие как IEEE 802.16 (WiMax), UWB, LTE и др. Сложность применения таких радиоэлектронных средств, обусловлена их чувствительностью к воздействию помех различной природы, снижающих пропускную способность соединения между ее абонентами и повышающих задержки при передаче данных. Исходя из этого, актуальным является оценка влияния воздействия помех на функционирование таких радиосетей.

Разработанный Институтом инженеров электроники и радиотехники (IEEE) стандарт широкополосного беспроводного доступа

© Воронов А. А., Молев А. А., 2025

802.16 и его разновидности (также известный как WiMAX) [1], открывает новые возможности для создания высокоскоростных сетей передачи данных. WiMAX является системой дальнего действия с зоной охвата до 50 км (при наличии прямой видимости) и скоростью до 75 Мбит/с для предоставления как стационарного (IEEE 802.16a), так и мобильного (IEEE 802.16e) соединения с глобальной сетью типа «точка-точка» или «точка-многоточие» провайдером конечному пользователю.

Технологии данного стандарта применяются как при построении сети базовых станций операторов сотовой связи стандарта LTE, так и при построении сети абонентов интернет-провайдеров небольших населенных пунктов, а также комбинированных сетей для обеспечения связью абонентов, выполняющих специальные задачи. Так, применительно к сетям связи, используемым для организации связи в экстремальных и сложных природно-географических условиях (например, на объектах добычи природных ископаемых в отдаленных районах, на объектах специальных служб, силовых структур, или при ликвидации последствий стихийных бедствий), одновременно с радиорелейными радиостанциями на абонентских терминалах передачи данных возможно применение спутниковых радиостанций для резервирования маршрутов передачи данных.

Воспроизведение и исследование системы связи аналитическими методами затруднено, из-за необходимости учета неопределенности исходной информации, наличия корреляционных связей между большим числом параметров, характеризующих внутрисистемные процессы, множества случайных факторов, воздействующих на элементы системы связи при их взаимодействии. В этом случае приходится либо упрощать модель, снижая точность расчетов, либо применять численные методы решения, имеющие частный характер. Использование имитационного моделирования в качестве альтернативы позволяет исследовать функционирование системы радиосвязи во времени, имитировать поведение ее элементов с учетом влияния множества различных факторов для получения требуемых зависимостей.

Выбор среды имитационного моделирования Anylogic обусловлен следующими факторами:

– широкий набор возможностей по созданию моделей сложных многоэлементных систем;

– наличие инструментов проектирования и визуализации, присущих пакетам моделирования высокого уровня;

– возможность детальной проработки функционирования отдельных элементов с использованием языка Java, характерной для низкоуровневых сред программирования;

– возможность интеграции моделей с базами данных.

Целью работы является разработка имитационной модели сети широкополосных радиорелейных радиостанций в условиях воздействия помех при различной плотности и вариантах размещения их источников.

1. Общее описание имитационной модели

Разработка имитационной модели сети широкополосных радиорелейных радиостанций заключается в последовательном выполнении следующих этапов:

1. объектно-ориентированного анализа, заключающегося в декомпозиции исследуемой системы и внешней среды на моделируемые элементы;

2. объектно-ориентированного проектирования, состоящего в формализации математического описания моделируемых элементов;

3. объектно-ориентированного программирования путем непосредственной программной реализации классов объектов, а также интерфейса управления ходом моделирования.

Декомпозиция исследуемой системы на различных уровнях модели взаимодействия открытых систем (OSI) позволила выделить следующие процессы, подлежащие моделированию:

4. на прикладном уровне:

– генерация трафика;

– на транспортном уровне:

– разбиение сообщений на пакеты для передачи в сети и формирование сообщений из принятых пакетов;

– на сетевом уровне:

– функционирование многоинтервального направления связи с адаптивной маршрутизацией [2, 3];

– функционирование узлов связи;

– установление и поддержание соединения с применением технологии направленной передачи;

– на канальном уровне:

– выбор маршрута передачи пакета;

5. на физическом уровне:

– перемещение подвижных узлов связи;

– передача пакетов данных по радиорелейному интервалу или по спутниковой линии связи;

– оценка текущей сигнально-помеховой обстановки и адаптация к ее изменению [3];

– излучение помех с заданными параметрами соответствующими источниками.

По результатам проектирования, рассматриваемая модель представлена системой взаимосвязанных структурных элементов:

– частные модели процессов передачи данных;

– частные модели адаптивной пространственной маршрутизации;

– частная модель перемещения узлов связи;

– частная модель оценки текущей сигнально-помеховой обстановки и адаптации сети передачи данных к ее изменению

– частная модель источников помех.

Взаимосвязи приведенных элементов отображены на рис. 1.

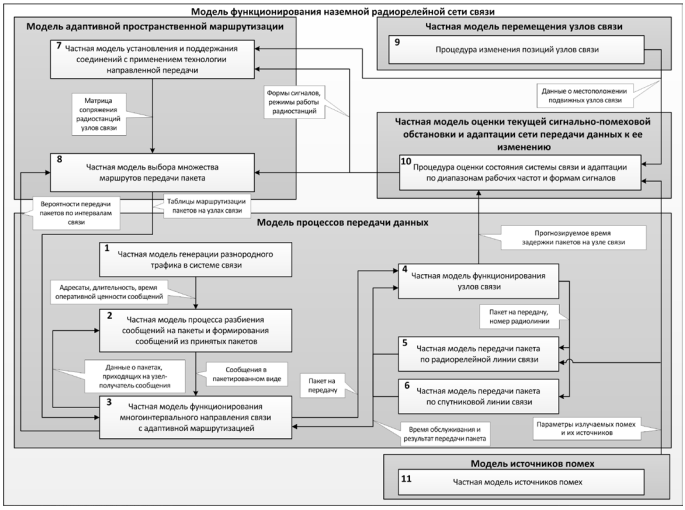


Рис. 1. Структура имитационной модели

К особенностям рассматриваемой сети связи, существенным для моделирования процесса ее функционирования в условиях помех, можно отнести следующие:

– узконаправленные антенны обеспечивают устойчивость к излучению источников помех, расположенных вне сектора основного лепестка диаграммы направленности антенны;

– автоматическое оперативное реконфигурирование схемы маршрутизации обеспечивает быструю адаптацию сети к условиям помеховой обстановки;

– моделируемая сеть состоит из мобильных радиорелейных радиостанций высокой пропускной способности, имеющих коммутируемые, радиально расположенные в азимутальной плоскости,

узконаправленные антенны, а также спутниковые радиостанции с более низкой пропускной способностью;

– для одной радиорелейной радиостанции возможна квазиодновременная работа (TDMA) нескольких радиорелейных интервалов через разные антенны; при этом, одна антенна работает только с одним радиорелейным интервалом в выделенном временном слоте;

– процесс установления и поддержания соединения между узлами связи осуществляется с применением технологии направленной передачи или по каналу спутниковой связи, сопровождается оценкой сигнально-помеховой обстановки в пространственном канале радиорелейного интервала с адаптацией параметров канала;

– создаваемые радиорелейные направления связи в сети передачи данных дублируются спутниковыми радиолиниями, которые задействуются при невозможности передачи данных узлу связи-адресату по какому-либо маршруту радиорелейного направления.

В разработанной имитационной модели приняты следующие допущения:

– при моделировании учитывается ограничение прямой видимости за счет изгиба земной поверхности;

– климатические явления приняты нормальными и на качество трассы распространения радиоволн влияния не оказывают;

– в рамках имитационной модели, для снижения вычислительной нагрузки, работа с временным разделением реализуется в форме одновременной работы нескольких радиорелейных интервалов с суммарной пропускной способностью радиорелейных интервалов не превышающей максимальную пропускную способность радиостанции;

– применяется обратная связь от радиостанции-адресата [1], состоящая в том, что приемная радиостанция оценивает сигнально-помеховую обстановку и сообщает по служебному каналу, есть ли свободный от помех участок диапазона, возможность устранения влияния помех путем повышения мощности сигнала передатчика;

– передача данных по радиорелейному интервалу прекращается, если:

– в результате воздействия помех на радиостанцию-адресат, методы адаптации не позволяют восстановить соединение даже с самой низкой скоростью передачи данных канала [4], то есть отношение сигнал/шум+помеха в канале передачи данных превышает пороговое значение отношения сигнал/шум+помеха наиболее помехоустойчивого типа сигнала;

– в результате воздействия помех на радиостанцию, передающую данные, отсутствует возможность получения обратной связи от приемной радиостанции, то есть отношение сигнал/шум+помеха в служебном канале превышает пороговое значение.

Входными данными модели являются:

– пространственные характеристики размещения абонентских терминалов сети широкополосных радиорелейных радиостанций;

– перечень, состав и основные характеристики направлений связи между абонентами сети, определяющие характеристики трафика;

– частотно-энергетические характеристики радиорелейных радиостанций, в том числе применяемые алгоритмы маршрутизации и адаптации к сигнально-помеховой обстановке;

– пространственные характеристики размещения источников помех;

– частотно-энергетические характеристики источников помех.

– К выходным данным модели относятся:

– пропускная способность системы связи в целом;

– среднее время задержки передачи сообщения в направлении связи;

– среднее время задержки на передачу пакетов узлом связи.

В основу работы имитационной модели положен алгоритм дискретно-событийного процесса моделирования, реализуемый каждым агентом системы во взаимодействии с другими агентами.

Согласно заложенному порядку работы имитационной модели, в первую очередь вводятся исходные данные модели, перечисленные выше. После запуска эксперимента осуществляется размещение имитируемых объектов системы на исходных позициях. Затем, производится моделирование динамики передачи данных (генерация РЭО) и движение объектов. Эксперимент продолжается до истечения заданного времени, по окончании которого осуществляется вывод результатов, на основе накопленных статистических данных.

2. Реализация имитационной модели

В соответствии с приведенным описанием, выполнена программная реализация имитационной модели в среде Anylogic с применением агентного подхода, заключающегося в представлении исследуемой системы в виде совокупности взаимодействующих активных объектов. Структура имитационной модели представляет собой совокупность взаимосвязанных агентов (рис. 2), включающих параметры (переменные), функции (методы) и диаграммы состояний (конечные автоматы), реализующие алгоритмы функционирования соответствующих объектов моделируемой системы [1, 5].

- Main – Основная среда агентов имитационной модели
  - MapLayer – Агент отображения карты
  - Map_calc – Агент пересчета координат объектов
  - Facility – Частная модель функционирования узла связи
    - Facility_move – Частная модель перемещения узла связи
    - Radio – Радиостанция
      - Antenna – Антенна радиостанции
        - DNA – Диаграмма направленности антенны
        - Radioline – Частная модель радиолинии между радиорелейными радиостанциями
          - Get_connection – Частная модель установления и поддержания соединений с применением технологии направленной передачи
          - CognitiveSystem – Частная модель оценки текущей сигнально-помеховой обстановки и адаптации радиолинии к ее изменению
        - SAT_Radioline – Частная модель радиолинии между спутниковыми радиостанциями
    - TrafficGenerator – Частная модель генерации разнородного трафика
      - Message – Сообщение
        - MessagePacker – Частная модель процесса разбиения сообщений на пакеты и формирования сообщений из принятых пакетов
        - Packet – Пакет данных
  - Direction – Направление связи
    - RouteSystem – Частная модель выбора маршрута передачи пакета
      - PacketRouter – Частная модель функционирования многоинтервального направления связи
  - Facility_Noise – Частная модель генерации помех

Рис. 2. Иерархия агентов имитационной модели

Для более удобного восприятия модели при ее отладке и демонстрации работы, активные объекты, а также трехмерное пространство, в котором они перемещаются, были визуализированы с помощью двумерной и трехмерной презентаций Anylogic (рис. 3)

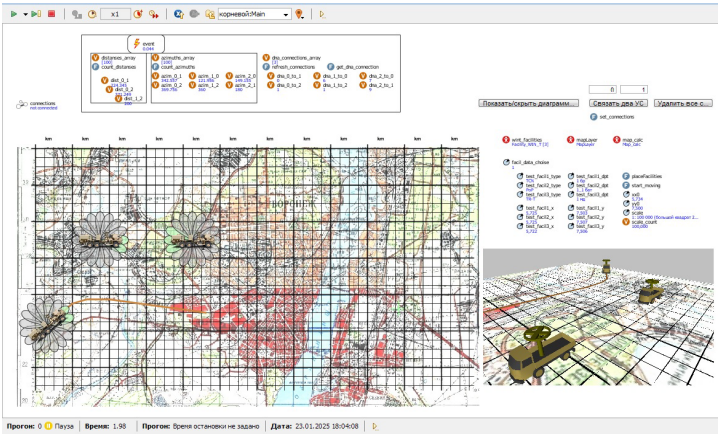


Рис. 3. Визуализация объектов имитационной модели с помощью двумерной и трехмерной презентаций Anylogic

Исследования с применением разработанной имитационной модели проводятся в четыре этапа, с учетом рекомендаций по моделированию систем связи, изложенных в работах [5, 6]:

1. Этап тестирования имитационной модели на адекватность, устойчивость и чувствительность.

2. Этап планирования исследования, включающий стратегическое и тактическое планирование.

3. Этап реализации плана эксперимента, накопления и первичной обработки данных, получаемых в ходе имитационных экспериментов.

4. Этап вторичной обработки данных, предусматривающий итоговую обработку и анализ информации.

Перед началом эксперимента, подготавливаются исходные данные в соответствии со сформированным планом исследования. После этого производится запуск модели и на экран выводится динамическая двумерная и трехмерная анимации эксперимента (рис. 3). По окончании эксперимента выводятся показатели эффективности функционирования системы связи (рис. 4).

Для обеспечения требуемой точности исследования проводятся сериями экспериментов, для усреднения результатов и анализа зависимостей между входными параметрами и выходными показателями эффективности. Необходимое количество реализаций рассчитывается исходя из заданной точности и доверительной вероятности [5, 7].

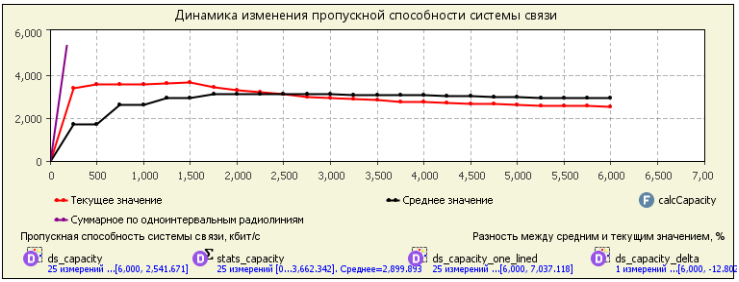


Рис. 4. Отображение значений пропускной способности системы связи в течение эксперимента

Программная реализация имитационной модели выполнена с использованием подхода, описанного в [7], заключающегося в моделировании сети связи как многоканальной системы массового обслуживания замкнутого типа с отказами, а также с возможностью сбора статистических данных в ходе имитационного эксперимента. Алгоритмы работы частных моделей радиостанций, узлов связи, направлений связи, генерации и пакетирования сообщений, исходные

данные для моделирования, показатели эффективности разрабатывались на основе [5].

Алгоритмы функционирования радиорелейных интервалов разработаны с учетом известной модели функционирования сети связи, построенной на основе радиорелейных станций с адаптивной модуляцией и коммутацией пакетов [4].

Источники помех моделировались аналогично [8] с учетом различной плотности и вариантов их размещения, диапазонов частот излучения, выходной мощности, видов и режимов излучения, продолжительности и интенсивности выходов в эфир. В ходе исследования рассматриваются различные варианты взаимного размещения источников помех и элементов сети радиосвязи – вблизи абонентов, равномерно распределенных по всей области размещения радиостанций; плотности размещения источников помех – низкой (количество источников помех значительно меньше количества абонентов), высокой (количество источников помех сопоставимо с количеством абонентов); мощности излучения помех – маломощные (сравнимые по мощности с передатчиком радиостанции), с высокой мощностью (значительно превышающие мощность передатчика радиостанции).

Заключение

Разработана имитационная модель сети широкополосных радиорелейных радиостанций в среде Anylogic, функционирующих в условиях помех, позволяющая оценить влияние воздействия помех на пропускную способность системы связи в целом, среднее время задержки передачи сообщения в направления связи, среднее время задержки на передачу пакетов узлом связи. Эксперименты проводятся при заданных пространственных, частотных и энергетических характеристиках радиостанций и источников помех. Модель может быть использована для проведения научно-исследовательских экспериментов по оценке помехозащищенности радиорелейных сетей связи, сетей сотовой связи, комбинированных (с применением радиорелейных и спутниковых радиостанций) систем связи.

Список литературы

1. IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems // IEEE Standards association. – 2018. – 2724 с.

2. Hong, X.. Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks / Xiaoyan H., Kaixin Xu, Mario Gerla // IEEE Network Magazine. – Volume 16, Issue 4. – 2002`.

3. Zhang, Y. Cognitive radio networks, Ar-chitectures, Protocols, and Standards./ Zhang Y., Zheng J., Chen H.-H. – CRC Press. – 2010. – 466 с.

4. Одоевский, С. М. Модель функционирования сети связи, построенной на основе радиорелейных станций с адаптивной модуляцией и коммутацией пакетов / С. М. Одоевский, В. О. Ключников, И. В. Степанец // Труды учебных заведений связи. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 63–76. doi:10.31854/1813-324X-2021-7-4-63-76.

5. Создание имитационных моделей систем радиосвязи в условиях воздействия помех : учебное пособие / А. А. Молев [и др.] – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2023. – 328 с.

6. Алгазинов, Э. К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем : учебное пособие / Э. К. Алгазинов, А. А. Сирота / Под общ. ред. д.т.н. А. А. Сироты // М. : Диалог-МИФИ, 2009. – 416 с.

7. Боев, В. Д. Компьютерное моделирование : Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в Anylogic 7 / В.Д. Боев – СПб. : ВАС, 2014. – 432 с.

8. Молев, А. А. Оценка помехозащищенности сети сверхширокополосной радиосвязи на основе имитационного моделирования в среде Anylogic / А. А. Молев, К. Д. Титов, В. В. Кондаурова // Журнал радиоэлектроники. – 2024. – №2. doi: https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.2.1.

Моделирование процесса конструирования генератора прецизионной частоты на базе программы SolidWorks

В. Ю. Воронцов, email: mr.vorontsov07@mail.ru,
В. Г. Бондарев, Д. В. Лопаткин, К. И. Хахин

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В статье приведен анализ способов обеспечения постоянной частоты тока на летательных аппаратах, а также описана схема и принцип действия генератора переменного тока с электронным регулированием частоты сети.*

Ключевые слова: *генератор, частота тока, феррит, эскиз, модель.*

Введение

Цель работы заключается в создании источника переменного тока, обеспечивающего потребители боевых летательных аппаратов электроэнергией заданного качества на всём диапазоне работы силовой установки воздушного судна. Следует отметить, что дальность действия воздушного судна (боевого летательного аппарата) определяется запасом топлива и электроэнергией (в случае электрифицированной силовой установки). Частота тока сети электроэнергии, вырабатываемой генератором переменного тока зависит от частоты вращения ротора. В настоящее время, для обеспечения постоянной частоты тока, на современных воздушных судах используют привод постоянных оборотов. Такие машины представляют собой гидравлические или пневматические агрегаты с большой массой и габаритами, что ухудшает массогабаритные показатели самого воздушного судна. На сегодняшний день современный уровень электроники позволяет создавать малогабаритные блоки управления для решения широкого круга задач с требуемым качеством. Так, например, контроллеры с широтно-импульсной модуляцией используются в системах управления, электроснабжения беспилотных летательных аппаратов и других. Таким образом, использование электронных устройств позволит решить задачу регулирования частоты тока сети генератора переменного тока и снижении массогабаритных показателей успешным образом.

© Воронцов В. Ю., Бондарев В. Г., Лопаткин Д. В., Хахин К. И. 2025

Предлагается к рассмотрению схема генератора переменного тока бесколлекторного типа с электронной системой управления, изображенная на рис. 1.

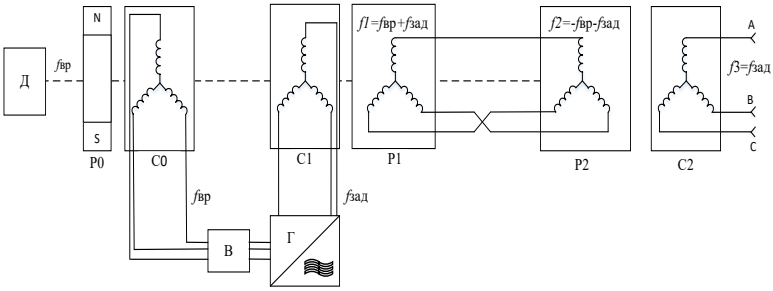


Рис. 1. Структурная схема генератора переменного тока бесколлекторного типа с электронной системой управления

Состав схемы: Д – двигатель; Р0 – сердечник ротора подвозбудителя; С0 – статор подвозбудителя; С1 – статор возбудителя, Р1 – сердечник ротора возбудителя, С2 – статор генератора, Р2 – сердечник ротора генератора, В – выпрямитель, Г – генератор синусоидальных напряжений.

Генератор предназначен для питания электросети переменным трехфазным напряжением постоянной частоты при изменении частоты вращения двигателя.

Генератор включает в себя следующие конструктивные элементы:

– статор подвозбудителя С0, состоящий из сердечника и обмотки;

– ротора подвозбудителя Р0, состоящий из постоянного магнита;

– статор возбудителя С1, состоящий из сердечника и трехфазной обмотки;

– ротор возбудителя Р1, состоящий из сердечника и трехфазной обмотки;

– статор генератора Р2, состоящий из сердечника и трехфазной обмотки;

– ротор генератора Р2, состоящий из сердечника и трехфазной обмотки.

Генератор состоит из трех каскадов. Первый каскад включает в себя сердечник ротора подвозбудителя и статор подвозбудителя. Второй каскад включает в себя сердечник ротора возбудителя и статор возбудителя. Третий каскад включает в себя ротор генератора и статор генератора.

Создание модели генератора

Модель создавалась в программе SolidWorks. SolidWorks – программный комплекс систем автоматического проектирования для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения.

Выбранная программа обладает следующими возможностями:

– 3D-проектирование изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учётом специфики изготовления;

– создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ;

– обратная разработка;

– проектирование коммуникаций (электрожгуты, трубопроводы и пр.);

– инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ, динамика механизмов, газо/гидродинамика, оптика и светотехника, электромагнитные расчёты, анализ размерных цепей и пр.);

– экспресс-анализ технологичности на этапе проектирования;

– управление данными и процессами на этапе конструирования.

Наиболее целесообразным способом моделирования сложного устройства с множеством деталей является проектирование по частям. План проектирования включает в себя следующие этапы:

– проектирование корпуса генератора;

– проектирование конструкции ротора генератора;

– проектирование конструкции статора генератора.

Процесс проектирования корпуса генератора заключается в создании оптимального каркаса, где можно будет разместить ротор и статор. По задумке внутри корпуса будут предусмотрены выемки для удержания неподвижных частей внутри. В ходе проектирования были использованы простейшие геометрические фигуры. Начертив эскиз одной из граней каркаса, необходимо было воспользоваться функцией «Повернуть», чтобы придать будущей заготовке каркаса круглую и полую форму вытянутого кольца. Эскиз каркаса генератора представлен на рис. 2.

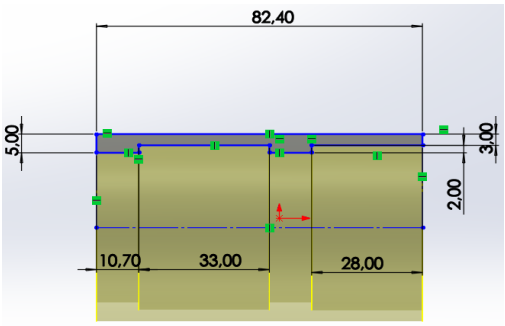


Рис. 2. Эскиз каркаса генератора

После успешного перехода от эскиза к объемным фигурам необходимо было добавить к уже полученной заготовке добавить плоскую поверхность, целью которой будет удержание генератора в ровном положении.

Также было необходимо добавить по бокам кольца зубцы прямоугольной формы для выполнения следующей задумки по разделению каркаса на две части. После нанесения эскизов вышеупомянутых дополнений к кольцу, функцией «Вытянутая бобышка/основание» каркас генератора приобрел нужную форму. Модель каркаса генератора представлена на рис. 3.

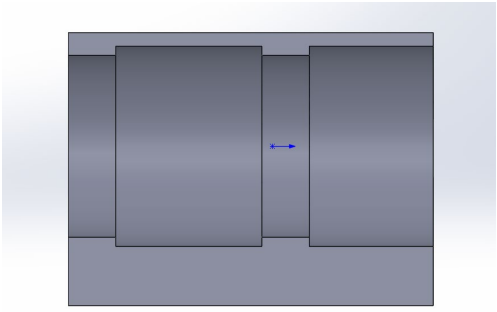


Рис. 3. Модель каркаса генератора

В целях упрощения 3D печати и реализации вложения ротора в каркас генератора было принято решение о разделении каркаса на две части: верхнюю и нижнюю. Нижняя часть представляет собой пологую деталь с надежными гранями для удержания изделия на горизонтальной поверхности. Углубления внутри детали точно совпадают с рельефом

деталей, заложенных во внутрь изделия. Выемки для статора позволяют удерживать деталь на своем месте, не прибегая к дополнительному креплению. На верхних гранях нижней части присутствуют четыре паза для надежной состыковки с верхней частью. Модель нижней части каркаса генератора представлена на рис. 4.

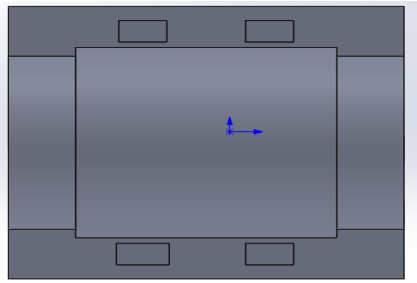


Рис. 4. Модель нижней части каркаса генератора

Вторая часть представляет собой аркообразную деталь, являющуюся крышкой изделия. Углубления внутри детали точно совпадают с рельефом деталей, заложенных во внутрь изделия.

На нижних гранях детали присутствуют специальные зубцы, предназначенные для фиксации детали и компоновки ее с первой деталью. Модель верхней части каркаса генератора представлена на рис. 5.

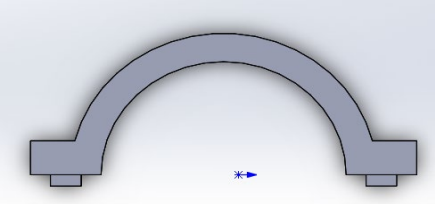


Рис. 5. Модель верхней части каркаса генератора

Таким образом, при состыковке двух частей получается цельный каркас генератора. В процесс проектирования ротора было необходимо выполнить следующие задачи:

– проектировка ферритов;
– проектирование вала генератора;
– проектирование тела ротора.

Проектирование ферритов началось с эскиза, взятого за основу каркаса генератора с отличием лишь в размерах кольца и отсутствии выбоин во внутренней полости кольца. После перехода от эскиза к объемным фигурам с помощью простых линий, лежащих на поверхности кольца (каждая с поворотом 60 градусов), был намечен будущий контур зубцов, на которые позже будет намотана обмотка. С помощью функции «Вытянутый вырез» необходимо было удалить некоторые участки поверхности кольца. Модель феррита представлена на рис. 6.

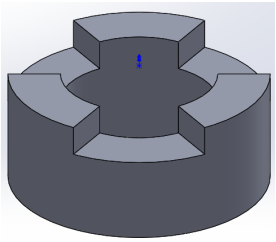


Рис. 6. Модель феррита

Процесс проектирования вала генератора занял меньше всего времени. Эскизом для вала стал вытянутый прямоугольник, который с помощью функции “Повернуть” стал объемным вытянутым цилиндром.
Проектирование тела ротора было схоже с проектированием корпуса генератора. В ходе проектирования были использованы простейшие геометрические фигуры. Начертив эскиз одной из граней тела ротора необходимо было воспользоваться функцией «Повернуть» чтобы придать будущей заготовке тела круглую форму вытянутого цилиндра с утолщением в середине. Эскиз тела ротора генератора представлен на рис. 7.

Рис. 7. Модель тела ротора генератора

После перехода от эскиза к объемным фигурам необходимо было сделать отверстие для вала генератора вдоль всей фигуры, для этого с помощью функции “Вытянутый вырез” был начерчен круг на одной из вершин детали, который и стал проекцией для будущего отверстия. Модель тела ротора представлена на рис. 8.

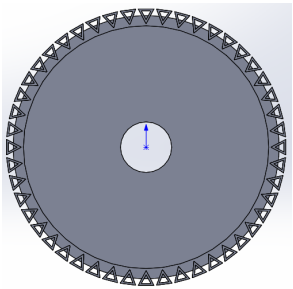
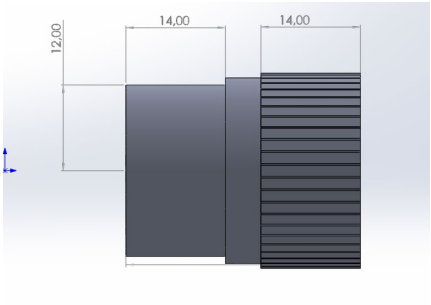


Рис. 8. Модель тела ротора генератора (вид сверху)

Так как первоначально предполагалась печать этой детали перпендикулярно положению экструдеров, возникла проблема с печатью отвесных элементов детали. Конечно, несмотря на то, что в использованной программе для печати 3D-деталей (Ultimaker Cura) предусмотрена функция печати поддержек для отвесных деталей опыты показали, что гораздо надежнее будет напечатать собственные поддержки. Таким образом, на поверхности детали были предусмотрены полые, треугольные поддержки. Модель тела ротора генератора представлена на рис. 9.



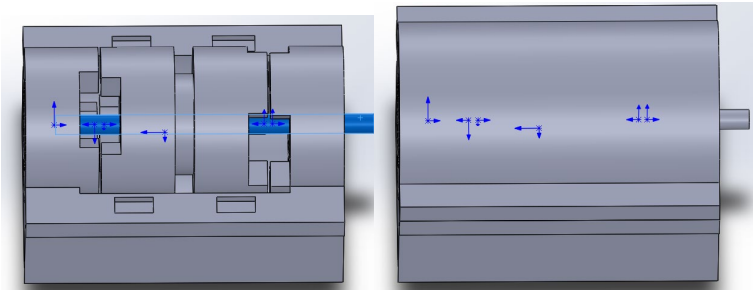
(2)

Рис. 9. Модель тела ротора генератора (вид сбоку)

По задумке для проектирования статора необходимо моделировать ферриты и две заглушки для фиксации подшипников внутри статора.

Так как при проектировании ротора генератора ферриты уже были смоделированы было принято решение заняться моделированием заглушек. Заглушка для статора представляет собой “шайбу” с углублением в середине детали под подшипник и углублением для уменьшения трения от вращающего движения подвижной части подшипника. В одном из подшипников будет сквозное отверстие для вала генератора. Начертив небольших размеров цилиндр, с помощью функции «Вытянутый вырез» были созданы необходимых размеров отверстия внутри детали.

Конечным этапом проектирования генератора стала компоновка всех деталей устройства, представленная на рис. 10, где он представлен в открытом (а) и закрытом (б) виде.



а б

а – со снятой верхней крышкой, б – с закрытой верхней крышкой

Рис. 10. Модель генератора

Заключение

Подводя итоги сказанному, можно константировать, что была создана модель конструкции источника переменного тока, обеспечивающего потребители боевых летательных аппаратов электроэнергией заданного качества на всём диапазоне работы силовой установки воздушного судна.

Так же, были выявлены следующие достоинства 3D-моделирования упрощение объяснения идей;

– возможность наглядно демонстрировать концепции и проекты;

– высокую точность измерений и пропорций;

– возможность выявлять потенциальные проблемы до начала производства;

– возможность проведения испытаний моделей при различных условиях и анализировать свойства и характеристики объекта;

– возможность использования в 3D-печати.

Стоит отметить, что в ходе выполнения работы были выявлены следующие достоинства 3D-печати:

– отличная точность позиционирования, гладкость поверхности;

– изготовление моделей любой сложности (тонкостенные и мелкие детали);

– довольно высокая, по сравнению с другими технологиями, скорость создания объекта;

– отсутствие технологических проблем с печатью (перегрев, расслаивание, обрушение под весом, сбой маршрута головки, плохое прилипание, отклеивание углов).

Список литературы

1. Куприн, Б.В. Учебное пособие к практическим занятиям по дисциплине “Авиационные электрические машины”. Конструкция авиационных генераторов / Б.В. Куприна, ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского. Выпуск1. 1977-64с.

2. Напольский, В.П. Авиационные электрические машины. Расчет авиационных электрических машин / В.П. Напольский, А.С. Бочаров, В.В. Онуфриенко. Воронеж: ВАИУ, 2011-260с.

3. Авиационные электрические машины. Расчет авиационных асинхронных электрических машин. С.В. Кучевский и [д.р.], Воронеж: ВУНЦ ВВС ВВА 2022-226с.

Исследование модели передачи данных в сети Wi-Fi

В. Е. Глушаков, email: vitalikgl@gmail.com

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

Аннотация. *В данной статье строится математическая модель, позволяющая оценивать время доставки одного фрагмента одной станцией, и предлагается методика оценивания загруженности сети на её основе, которая описывает принципиально новый подход к исследованию загруженности сети Wi-Fi.*

Ключевые слова: *время доставки пакетов, беспроводная сеть, пропускная способность, загруженность сети.*

Введение

В эпоху развития информационных технологий очень важно время доставки информации, в том числе и в сети Wi-Fi, которое зависит, в том числе, и от загруженности сети. В целях решения задач мониторинга и оценки времени доставки информации были предложены методика моделирования и методика оценки загруженности сети, описанные в [1]-[2], построена математическая модель, позволяющая использовать данные методики и анализировать загруженность сети Wi-Fi.

1. Методы и принципы исследования

На основе анализа стандартов передачи данных и технологий ускоренной передачи информации (рис. 1) были выделены следующие типы режимов передачи данных в беспроводных сегментах информационных систем:

1. ускоренная передача фрагмента в режиме Bursting (рис. 1 а),
2. удавшаяся передача одного фрагмента (рис. 1 б),
3. неудачная передача одного фрагмента (рис. 1 в),
4. успешная передача фрагмента после нескольких неудавшихся попыток (рис. 1, г).

2. Математическое моделирование

При построении математической модели с использованием системы массового обслуживания были исследованы события, связанные с функционированием СМО по беспроводному участку цепи, и были определены следующие состояния:

© Глушаков В. Е., 2025

p_0 – в рассматриваемом устройстве отсутствуют заявки на обслуживание СМО;

p_1 – в выделенном устройстве сформирована заявка на обслуживание (сгенерирован пакет для отправки);

p_2, p_5 – устройство находится в режиме ожидания (регламентная пауза *DIFS+Backoff Time*);

p_3, p_6, p_{12}, p_{15} – реализация заявки на обслуживание СМО соответственно с первой, второй, третьей и четвёртой попыток;

p_4, p_{10}, p_{13} – получен отказ на обработку заявки на обслуживание соответственно с первой, второй и третьей попыток;

p_7 – устройство находится в режиме ожидания (регламентная пауза *SIFS*);

p_8 – заявка на обслуживание СМО выполнена с использованием технологии Bursting (с паузой *SIFS* между пакетами*)*;

p_9 – заявка на обслуживание СМО выполнена, и выделенное устройство получило подтверждение о доставке (фрейм *ACK*);

p_{11}, p_{14} – СМО находится в режиме ожидания получения пакета подтверждения о доставке; регламентная пауза определяется параметрами стандарта *ACK Timeout и Backoff Time*.

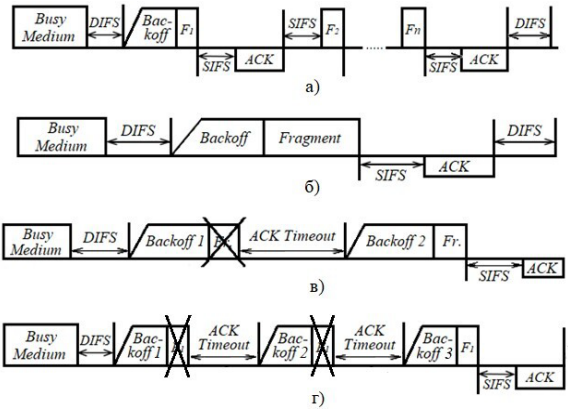


Рис. 1. Основные режимы передачи информации в сети Wi-Fi

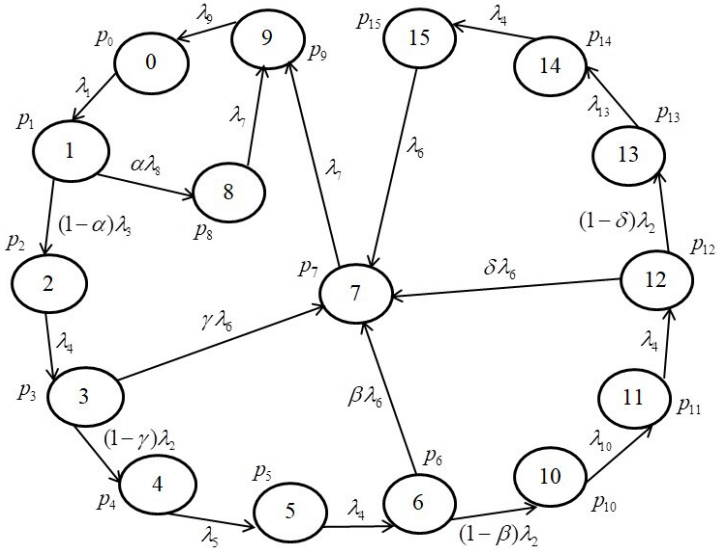
Здесь λ_i $(i = 1,\ldots,13)$ определяются как интенсивности передачи информации, зависящие от различных параметров.

Соответствующая графу на рис. 2 система уравнений Колмогорова с соответствующими начальными условиями, с учётом поглощающего состояния 9, примет вид:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda_1 p_0 \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_1 p_0 - \alpha\lambda_8 p_1 - (1-\alpha)\lambda_3 p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} = (1-\alpha)\lambda_3 p_1 - \lambda_4 p_2 \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_4 p_2 - \gamma\lambda_6 p_3 - (1-\gamma)\lambda_2 p_3 \\ \frac{dp_4}{dt} = (1-\gamma)\lambda_2 p_3 - \lambda_5 p_4 \\ \frac{dp_5}{dt} = \lambda_5 p_4 - \lambda_4 p_5 \\ \frac{dp_6}{dt} = \lambda_4 p_5 - \beta\lambda_6 p_6 - (1-\beta)\lambda_2 p_6 \\ \frac{dp_7}{dt} = \beta\lambda_6 p_6 + \gamma\lambda_6 p_3 + \delta\lambda_6 p_{12} - \lambda_7 p_7 \\ \frac{dp_8}{dt} = \alpha\lambda_8 p_1 - \lambda_7 p_8 \\ \frac{dp_9}{dt} = \lambda_7 p_7 + \lambda_7 p_8 \\ \frac{dp_{10}}{dt} = (1-\beta)\lambda_2 p_6 - \lambda_5 p_{10} \\ \frac{dp_{11}}{dt} = \lambda_5 p_{10} - \lambda_4 p_{11} \\ \frac{dp_{12}}{dt} = \lambda_4 p_{11} - \delta\lambda_6 p_{12} - (1-\delta)\lambda_2 p_{12} \\ \frac{dp_{13}}{dt} = (1-\delta)\lambda_2 p_{12} - \lambda_{13} p_{13} \\ \frac{dp_{14}}{dt} = \lambda_{13} p_{13} - \lambda_4 p_{14} \\ \frac{dp_{15}}{dt} = \lambda_4 p_{14} - \lambda_6 p_{15} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} p_0(0)=1 \\ p_i(0)=0 \quad (i=1,\ldots,15). \end{cases} \tag{2}$$

Рис. 2. Граф состояний при



пе

редаче пакетов в беспроводном сегменте сети

С учётом модели, представленной на рис. 2, рассматриваются следующие режимы:

– I ускоренная передача пакетов ($\alpha = 1$),

– II доставка пакета с первой попытки ($\alpha = 0$, $\gamma = 1$),

– III доставка пакета со второй попытки ($\alpha = 0$, $\gamma = 0$, $\beta = 1$),

– IV доставка пакета с третьей попытки ($\alpha = 0$, $\gamma = 0$, $\beta = 0$, $\delta = 1$),

– V доставка пакета с четвёртой попытки ($\alpha = 0$, $\gamma = 0$, $\beta = 0$, $\delta = 0$).

При решении модифицированных систем были получены пять графиков кривых плотности распределения времени доставки (рис. 3) и

пять временных интервалов, границы которых определяются точками пересечения этих графиков.

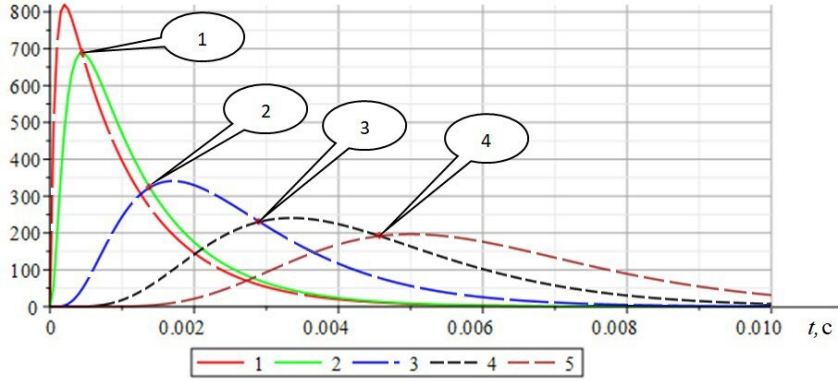


Рис. 3. Плотности вероятностей времени доставки фрагментов для выделенных режимов функционирования информационной системы

3. Экспериментальное исследование модели

Для проведения натурного эксперимента было взято 6 пар компьютер-ноутбук с сопоставимыми техническими характеристиками (рис. 4).

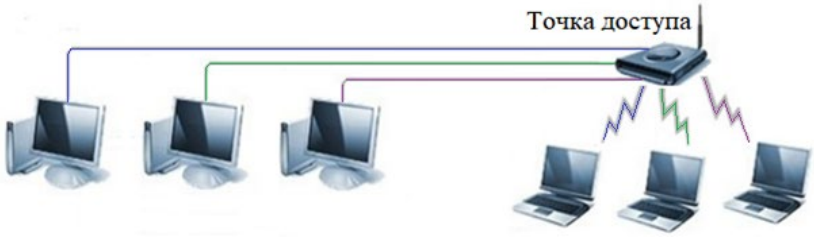


Рис. 4. Схема натурного эксперимента

Экспериментальные данные позволили получить информацию о производительности и загруженности сети, а также выявить возможные узкие места в её функционировании.

При анализе полученных модельных и экспериментальных данных для определения параметров модели α, γ, β, δ использовались экспериментальные данные.

4. Анализ результатов

Предложенная методика предлагает оценивать загрузку сети по доле пакетов, время доставки которых попадает в один из пяти диапазонов. Как и в [1]-[2], предпочтительным оказался 4-й диапазон, для которого коэффициент корреляции $r = 0,93$ и коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,86$.

– Алгоритм определения загрузки описывается следующим образом:

– проводится расчет границ временных диапазонов по предложенной модели,
– осуществляется натурный эксперимент с построением гистограммы распределения времени доставки,
– определяются доли пакетов в четвёртом временном диапазоне.

Предложенная математическая модель позволяет для выделенных режимов передачи данных (I, II, III, IV, V) провести качественный анализ вклада предельных вероятностей времени доставки пакетов в каждом из диапазонов (рис. 5).

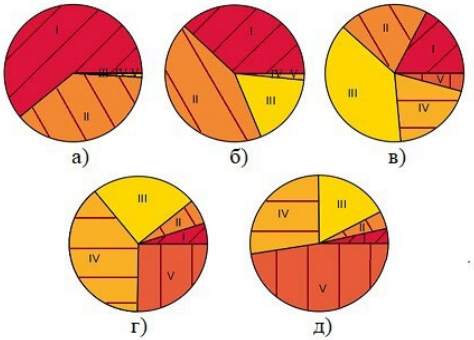


Рис. 5. Структура режимов передачи данных для каждого из пяти диапазонов времени передачи пакетов соответственно

Заключение

Результаты математического моделирования, учитывающие как все режимы передачи данных в информационных сетях, так и каждый из режимов в отдельности, показывают достаточную адекватность экспериментальным данным.

Для оценки загрузки канала в исследуемом диапазоне лучшим показателем оказывается определение загрузки на основе доли пакетов, время доставки которых попадает в 4-й интервал, характеризующийся

успешной передачей после двух неудачных попыток. Данная зависимость проявляется как близкая к линейной и не имеет экстремумов.

Проведённые исследования продемонстрировали, что предложенная математическая модель может эффективно использоваться для мониторинга процесса передачи данных в информационных сетях.

Список литературы

1. Абрамов, Г. В. Модель системы мониторинга передачи данных в гибридных сетях / Г. В. Абрамов, В. Е. Глушаков // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2024. – № 3. – С. 14-21.

2. Абрамов, Г. В. Разработка системы мониторинга загруженности гибридных сетей / Г. В. Абрамов, В. Е. Глушаков, Р. В. Данилов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2024. – Т. 21, № 7 (241). – С. 29-35.

Оптимизация задачи обратного маятника бионическим алгоритмом

Н. С. Грошев, email: groshev_n_s@sc.vsu.ru[1]
А. А. Махно, email: anna-mahno@mail.ru[1]

[1]Воронежский государственный университет, университетская пл., 1, Воронеж, 394042, Россия

Аннотация. *В настоящей статье рассматривается задача стабилизации обратного маятника совместно с задачей оптимизации, в рамках которой определяются параметры управления, доставляющее минимум функционалу, характеризующего усредненное отклонение маятника от неустойчивого положения равновесия. В качестве инструмента решения этой задачи представлен алгоритм, основанный на бионической модели, обеспечивающей эффективную процедуру поиска оптимальных параметров посредством применения поисковой стратегии.*

Ключевые слова: *обратный маятник, бионический алгоритм, стабилизация, управление.*

Введение

Задача стабилизации обратного маятника является одной из ключевых в области теории управления и широко используется для тестирования новых методов стабилизации. Ее актуальность обусловлена практическими применениями в робототехнике, авиации, инженерии и других областях. Модели маятника находят применение при проектировании систем управления, где требуется компенсировать нестабильность и учитывать нелинейные эффекты.

Традиционные методы стабилизации зачастую имеют ограничения при анализе нелинейных систем с многозначными или негладкими характеристиками. В связи с этим возникает необходимость разработки более адаптивных подходов, способных эффективно работать в условиях неопределенности. Первое теоретическое исследование обратного маятника было проведено Стефенсоном в работе [1], а первые эксперименты по его стабилизации с помощью колебаний подвеса были рассмотрены П.Л. Капицей и описаны в его работе [2].

Одним из перспективных направлений является использование бионических алгоритмов, основывающихся на моделировании адаптивного поведения живых организмов. В данной работе

© Грошев Н. С., Махно А. А., 2025

рассматривается применение алгоритма, имитирующего поведение личинок ручейника (Chaetopteryx villosa), для оптимизации задачи стабилизации обратного маятника [3]. Бионический алгоритм позволяет реализовать адаптивный подход к управлению, комбинируя элементы стохастического поиска и инерционного переключения между тактиками.

Целью исследования является разработка и анализ метода стабилизации обратного маятника на основе бионического алгоритма. В работе приводится математическая модель системы, описывается адаптация алгоритма для решения задачи управления, а также проводится численное моделирование, демонстрирующее эффективность предложенного подхода.

1. Физическая модель

Рассмотрим систему, состоящую из жестко закрепленного маятника с массой m и длиной l, установленного на подвижной тележке (рис. 1).

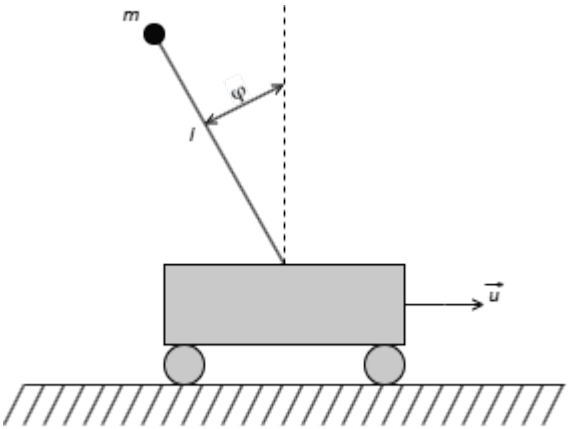


Рис. 1. Схема обратного мятника

Будем считать, что тележка не имеет массы и движется без трения, а управляющее воздействие, приложенное к тележке, сообщает ей ускорение u. Для описания динамики системы запишем уравнение динамики движения:

$$\ddot{\varphi} - \frac{g}{l}\varphi = -u_0 * sign(A\varphi + B\dot{\varphi}) \qquad (1)$$

где φ – угол отклонения маятника от положения равновесия, g – ускорение свободного падения, l – длина маятника, u_0, A и B –

константы управления, *sign* – кусочно-постоянная функция вещественного аргумента, то есть

$$sign(x) = \begin{cases} 1, x > 0 \\ 0, x = 0 \\ -1, x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Задача стабилизации формализуется через минимизацию отклонения маятника от вертикального положения. Целевой функционал имеет вид:

$$\left(\frac{1}{T} \int_0^T (\varphi^2 + \dot{\varphi}^2) dt \right)^{\frac{1}{2}} \to \min_{T \to \infty} \quad (3)$$

где T – достаточно большой промежуток времени. Минимизация этого функционала подразумевает подавление как угловых отклонений, так и скорости их изменения.

2. Принцип работы алгоритма ручейника: адаптивное поведение и мотивация

Бионический алгоритм, основанный на поведении личинок ручейника (Chaetopteryx villosa) [4], представляет собой адаптивную поисковую стратегию, имитирующую процессы, наблюдаемые в природе [3]. Личинки ручейника строят защитные домики из частиц различного размера, выбирая наиболее подходящие материалы в зависимости от окружающей среды. Этот процесс можно интерпретировать как решение задачи максимизации функции $f(x, y)$.

Ручейник использует 2 тактики поиска:

– Консервативная тактика (локальный поиск): движение в выбранном направлении с фиксированным шагом, что позволяет детально исследовать текущую область.

– Стохастическая тактика (глобальный поиск): случайное изменение направления для перехода к новой области поиска.

Механизм переключения между тактиками определяется внутренней мотивацией системы $M(t)$, которая обновляется по формуле:

$$M(t) = k_1 M(t-1) + \xi(t) + I(t) \quad (4)$$

где k_1 – коэффициент инерционности $(0 < k_1 < 1)$, регулирующий "память" о предыдущем состоянии, $\xi(t)$ – случайная величина с

нормальным распределением (шум), $I(t)$ – интенсивность раздражителя, отражающая успех или неудачу текущих действий [6].

Интенсивность раздражителя $I(t)$ вычисляется как:

$$I(t) = k_2 \Delta f(t) \tag{5}$$

или

$$I(t) = k_2 \frac{\Delta f(t)}{f(t-1)} \tag{6}$$

где $\Delta f(t) = f(t) - f(t-1)$ отражает изменение оптимизируемой функции, k_2 коэффициент чувствительности к изменениям $(k_2 \geq 0)$.

Поведение системы:

1. Если $M(t) \geq 0$, система использует консервативную тактику:

$$\Delta x(t+1) = R_0 \cos(\varphi_0) \tag{7}$$

$$\Delta y(t+1) = R_0 \sin(\varphi_0) \tag{8}$$

где R_0 – шаг движения, а φ_0 — угол текущего направления движения,

$$\cos(\varphi_0) = \frac{\Delta x(t)}{\sqrt{[\Delta x(t)]^2 + [\Delta y(t)]^2}} \tag{9}$$

$$\sin(\varphi_0) = \frac{\Delta y(t)}{\sqrt{[\Delta x(t)]^2 + [\Delta y(t)]^2}} \tag{10}$$

2. Если $M(t) < 0$, активируется стохастическая тактика:

$$\Delta x(t+1) = r_0 \cos(\varphi_0) \tag{11}$$

$$\Delta y(t+1) = r_0 \sin(\varphi_0) \tag{12}$$

где r_0 – шаг случайного перемещения, φ – угол, характеризующий направление движения в такт времени $t+1$, $\varphi = \varphi_0 + w$, φ_0 – угол, задающий направление движения в текущий такт времени t, величина w нормально распределена,

Преимущества модели:

– Учет инерционности позволяет избежать чрезмерно частых переключений между тактиками.

– Встроенная случайность помогает избежать застоя в неэффективных областях поиска.

– Механизм мотивации обеспечивает адаптивное поведение, направленное на достижение цели.

Этот подход позволяет гибко адаптироваться к изменяющимся условиям среды, находя баланс между детальным исследованием текущего направления и переходом к новому. Применение подобной стратегии в управлении обратным маятником позволяет эффективно стабилизировать систему за счет адаптивного выбора управляющих воздействий.

3. Результаты моделирования

Анализ модели проводился путем компьютерного моделирования, при котором так же, как и при поисковом поведении, предполагалось, что личинка помещена в ограниченное поле $P = [0,1]$. Изначально были зафиксированы начальные точки поиска $A_0 = 0$ и $B_0 = 0$. Далее указаны параметры маятника и начальные условия: длина маятника $l = 5$, управляющее воздействие $u_0 = 2$, $\varphi(0) = 0.1$ и соответственно $\dot{\varphi}(0) = 0$. За ускорение свободного падения g было принято значение равное $10\frac{m}{c^2}$. Промежуток времени $T = 50c$. Целью является минимизация функции:

$$I(A,B,T,\varphi,\dot{\varphi}) = \frac{1}{T}\left(\int_0^T \left(\varphi^2(t) + \dot{\varphi}^2(t)\right)dt\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (13)$$

но для расчета этого интеграла необходимо сначала решить уравнение (1) на промежутке времени T. Исходя из этого, можно сделать вывод, что, по сути, интеграл (13) будет зависеть только от трех переменных $I(A,B,T)$. Далее применяется бионический алгоритм ручейника для оптимизации параметров. Параметры расчета равны: $R_0 = 0.1$, $r_0 = 0.1$, $w_0 = 2$, $k_1 = 0.3$, $k_2 = 0.2$, $\sigma = 0.05$. Интенсивность раздражителя $I(t)$ определяется выражением (6). В качестве точки остановки был выбран параметр количества итераций $N = 50$.

На рис. 2, 3 показаны результаты эксперимента. На рис. 2 показана траектория движения анимата в координатах x, y, где оси абсцисс соответствует изменение величины *A*, а оси ординат – *B*. На рис. 3 – зависимость оптимизируемой функции от номера итерации.

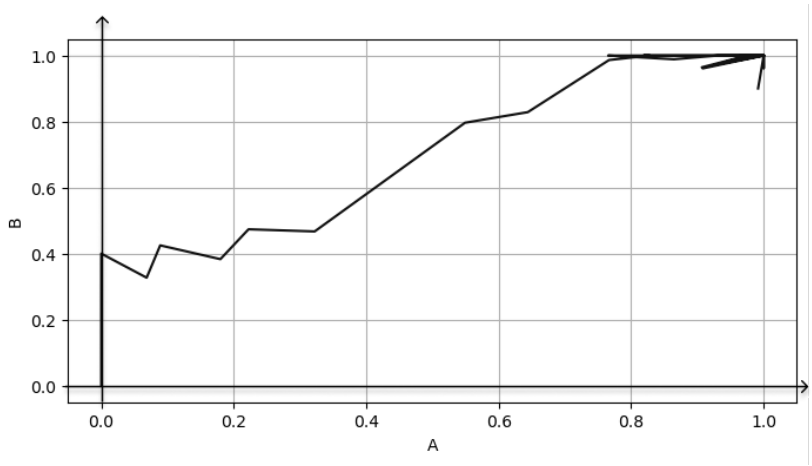


Рис. 2. Траектория движения анимата в координатах A, B

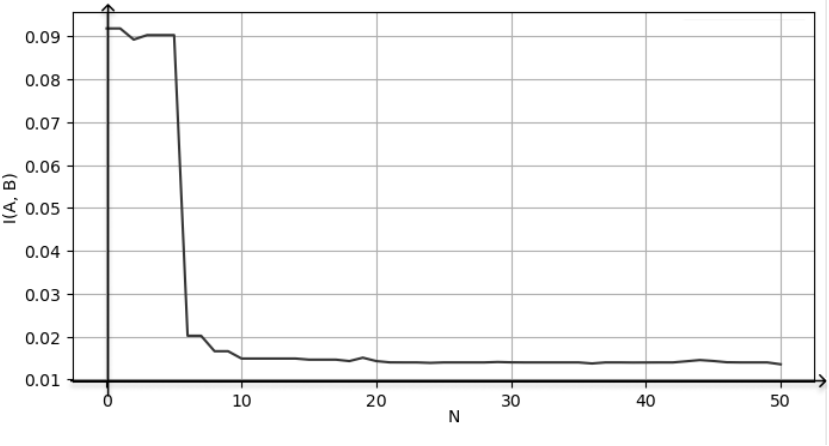


Рис. 3. Зависимость оптимизационной функции от номера итерации

Видно, что анимат чаще придерживается консервативной тактики и реже следует стохастической тактике и достаточно быстро оказывается в окрестности минимума функции $I(A,B,T)$. Приближенное значение минимума, найденное алгоритмом: 0.01354. Конечные координаты: $A = 0.9915, B = 0.9004$.

Для оценки качества оптимизации была написана программа поиска минимума функции методом случайного поиска. Для решения дифференциального уравнения использовался метод Эйлера, численное интегрирование выполнялось методом квадратур. Результат этой программы выдал следующий результат: найденное минимальное значение интеграла на промежутке $A, B \in [0,1]$ принимает значение, равное 0.01198. Полученные данные говорят о том, что бионический алгоритм ручейника успешно справился с поставленной задачей.

Заключение

В ходе проведённого исследования была разработана и проанализирована методика стабилизации обратного маятника с использованием бионического алгоритма, основанного на поведении личинок ручейника (Chaetopteryx villosa). Поставленная цель исследования заключалась в минимизации отклонения маятника от вертикального положения за счёт оптимизации параметров управления.

Разработанная математическая модель учитывала нелинейные эффекты системы и использовала численные методы для решения задачи: метод Эйлера для интегрирования дифференциального уравнения и метод квадратур для численного расчёта целевого функционала. Применение бионического алгоритма позволило эффективно сочетать локальный и глобальный поиск, что обеспечило быструю сходимость к оптимальному решению.

Результаты моделирования продемонстрировали высокую эффективность предложенного подхода. Алгоритм успешно минимизировал целевой функционал, приблизив значение интеграла к 0.01354, при этом случайный поиск дал результат 0.01198. Эти данные подтверждают работоспособность и адаптивность бионического алгоритма в условиях неопределенности и нелинейности системы.

Таким образом, использование бионического алгоритма ручейника для стабилизации обратного маятника показало свою результативность и может быть рекомендовано для решения аналогичных задач в системах управления, требующих высокой устойчивости и адаптивности.

Список литературы

1. Stephenson, A. On an induced stability / A. Stephenson // Philosophical Magazine. – 1908. – No. 15. – Pp. 233–236.

2. Капица, П. Л. Маятник с вибрирующим подвесом / П. Л. Капица // Успехи физических наук. – 1951. – № 44. – С. 7–20.

3. Arkhipova, I. M. Stabilization via parametric excitation of multi-dof statically unstable systems / I. M. Arkhipova, A. Luongo //

Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2014. – Vol. 19. – P. 3913–3926.

4. Непомнящих, В. А. Бионическая модель адаптивного поискового поведения / В. А. Непомнящих, Е. Е. Попов, В. Г. Редько // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – № 1. – С. 85–93.

5. Непомнящих, В. А. Поиск общих принципов адаптивного поведения живых организмов и аниматов / В. А. Непомнящих // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 2. – С. 48–53.

6. Semenov, M.E. Elastic inverted pendulum with backlash in suspension: stabilization problem / M.E. Semenov, A.M. Solovyov, P.A. Meleshenko// Nonlinear Dynamics. – 2015. – No. 82. – Pp. 677–688.

Компьютерная модель формирования имитационной фоноцелевой обстановки в дальней инфракрасной области спектра

А. А. Долгов, email: alexdolgov88-08@rambler.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В работе представлена компьютерная модель формирования имитационной фоноцелевой обстановки в дальней инфракрасной области спектра. Рассматриваются алгоритм численного расчета пространственного расчета температурных полей, а также программное обеспечение, реализующие представленную компьютерную модель.*

Ключевые слова: *компьютерная модель, фоноцелевая обстановка, инфракрасный, теплофизические параметры, тепловая томограмма, объект интереса, подстилающая поверхность.*

Введение

В настоящее время процесс исследования формирования тепловизионных образов различных объектов характеризуется широким использованием методов имитационного моделирования. Важным фактором, обусловившим активное использование данных методов, является сокращение сроков проведения исследований за счёт возможностей математического моделирования, позволяющего проводить расчёт и оценку влияния различных факторов на результирующее инфракрасное (ИК) излучение объекта [1-3]. Одним из важнейших требований при моделировании объектов в ИК диапазоне длин волн является получение физически адекватных и достоверных изображений сцен фоноцелевой обстановки (ФЦО) [4, 5].

1. Постановка задачи формирования ФЦО

Процесс формирования имитационных ИК изображений сцен ФЦО, основанный на математическом моделировании пространственно-временного распределения температурных полей в негомогенных изотропных средах, является довольно непростым, поскольку физическая модель теплообмена между земной поверхностью и внешней окружающей средой должна не только отражать особенности

© Долгов А. А., 2025

сочетания всех способов переноса теплоты (теплопроводности, конвекции и излучения), но и учитывать зависимость теплофизических параметров (ТФП) различных типов материалов и сред объектов и подстилающей поверхности (ПП) от температуры, влажности, пористости и других факторов [6-8].

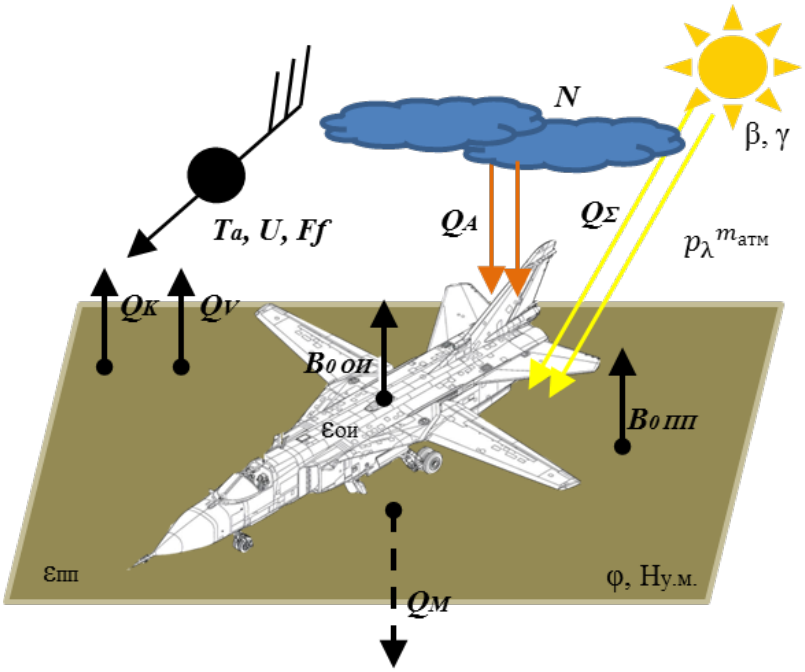


Рис. 1. Модельная сцена ФЦО в ИК диапазоне и факторы, оказывающие влияние при ее формировании

На рис. 1 представлена модельная сцена ФЦО в виде объекта интереса (ОИ), неоднородного с точки зрения ТФП входящих в него конструкционных материалов, расположенного на ПП, представляющей собой изотропную среду, в условиях воздействия стохастических факторов внешней среды, оказывающих влияние на формирование ФЦО района ведения аэрокосмического мониторинга (АКМ) в виде множества имитационных термограмм, содержащих данные пространственного распределения термодинамических или радиационных температурных полей ОИ и ПП и отражающих динамику их изменения в течение времени.

2. Алгоритм численного расчета пространственного распределения температурных полей ФЦО

Формирование имитационных термограмм ФЦО основано на численном расчете пространственного распределения термодинамических температурных полей района АКМ в ИК диапазоне путем численного решения прямой задачи теплопроводности в негомогенных изотропных средах с заданными начальными и граничными условиями согласно алгоритму [9]:

Шаг 1. Ввод исходных параметров:

1) тепловые томограммы (ТТ) [10] ОИ и ПП;

2) физико-географические условия (угол склонения Солнца β; широта места района АКМ φ; высота над уровнем моря $H_{У.М.}$);

3) метеорологические условия (температура воздуха T_a, относительная влажность воздуха U, скорость ветра Ff в приземном слое; общая облачность N, состояние атмосферы $p_{\lambda}^{m_{атм}}$);

4) временной интервал моделирования τ;

Шаг 2. Уточнение ТФП ТТ ОИ и ПП в соответствии с температурно-влажностным режимом материалов и сред и внешней окружающей среды района моделирования ФЦО [11]:

$$\lambda(T,\theta) = (1 + a_0(T - T_0^*))(\lambda_0 + a_1\theta + a_2\theta_2^1), \quad (1)$$

$$C_{\rho}(T,\theta) = \left(b_0 + b_1 T + b_2 T^2 + b_{-2} T^{-2}\right)\left(1 + \frac{0,01\theta}{1 + 0,01\theta}\right), \quad (2)$$

где $\lambda_0, \left[Bm \cdot м^{-1} \cdot K^{-1}\right]$ – значение теплопроводности при температуре $T_0^*, [K]$; $\theta, [\%]$ – весовая влажность среды; $a_0, \left[K^{-1}\right]$; $a_1, \left[Bm \cdot м^{-1} \cdot K^{-1}\right]$; $a_2, \left[Bm \cdot м^{-1} \cdot K^{-1}\right]$; $a_3, \left[Bm \cdot м^{-1} \cdot K^{-1}\right]$; $b_0, \left[Дж \cdot кг^{-1} \cdot K^{-1}\right]$; $b_1, \left[Дж \cdot кг^{-1} \cdot K^{-2}\right]$; $b_2, \left[Дж \cdot кг^{-1} \cdot K^{-3}\right]$; $b_{-2}, \left[Дж \cdot кг^{-1} \cdot K\right]$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от природы веществ материалов и сред.

Шаг 3. Расчет суммарной плотности потока тепла Q и его распределение в течение временного интервала моделирования τ в соответствии с выражениями [9]:

$$\varepsilon\left(Q_{\Sigma}+Q_{A}\right)-B_{0}^{*}=Q_{M}+Q_{K}+Q_{V}\,, \tag{3}$$

где $Q_{\Sigma},[Bm\cdot м^{-2}]$ – поток суммарной коротковолновой радиации, приходящей на земную поверхность и состоящего из потоков прямой и рассеянной в атмосфере солнечной радиации; $Q_{A},[Bm\cdot м^{-2}]$ – поток собственного переизлучения атмосферы вблизи земной поверхности; $Q_{K},[Bm\cdot м^{-2}]$ – поток тепла, выделяемого вследствие конвективного теплообмена между земной поверхностью и внешней окружающей средой; $Q_{V},[Bm\cdot м^{-2}]$ – поток тепла, выделяемый посредством испарения влаги с земной поверхности; $Q_{M},[Bm\cdot м^{-2}]$ – поток тепла, проводимый посредством молекулярно-диффузионного теплопереноса вглубь профиля ОИ и ПП; $B_{0}^{*}=\varepsilon\sigma\left(T_{0}^{4}-\varepsilon_{a}T_{a}^{4}\right),[Bm\cdot м^{-2}]$ – эффективное излучение верхнего слоя поверхности; $\sigma=5,67\cdot10^{-8}\ \left[Bm\cdot м^{-2}\cdot K^{-4}\right]$ – постоянная Стефана-Больцмана; ε – коэффициент излучательной способности поверхности; $T_{0},[K]$ − температура на верхней границе поверхности ОИ или ПП.

Расчет плотности потока приходящего на земную поверхность коротковолнового излучения при отсутствии облачности можно произвести на основе выражения [12]:

$$Q_{\Sigma}^{0}=\frac{p_{\lambda}^{m_{атм}}Q_{0}^{*}}{R^{2}}\int_{t_{вск}}^{t_{зах}}\left(\sin\varphi\sin\beta+\cos\varphi\cos\beta\sin\frac{2\pi}{P}t\right)dt\,, \tag{4}$$

где $Q_{0}^{*}\approx1353\left[Bm\cdot м^{-2}\right]$ – астрономическая солнечная постоянная; $\left[t_{вск},t_{зах}\right],[c]$ – временной интервал светлого времени суток (от восхода до захода Солнца); $R=r/r_{0}$ – отношение текущего и среднего расстояний от Земли до Солнца; $P,[c]$ – период вращения Земли; $t,[c]$ – время.

Для северного полушария угол склонения β определяется по формуле [7]:

$$\beta=23^{0}27^{/}\cos\left(\frac{2\pi\Delta D}{365}\right), \tag{5}$$

где ΔD – количество дней, прошедших с 21 июня; p_λ – коэффициент прозрачности атмосферы в окнах прозрачности для длин волн $\lambda,[м]$, $m_{атм} = \dfrac{1}{\sin(\gamma)} = \mathrm{cosec}(\gamma),\ \gamma \geq 30^0$ – оптическая масса атмосферы; $\gamma,[град]$ – максимальный угол подъема Солнца над горизонтом в течение суток.

Известно, что из-за поглощения и рассеяния в атмосфере поток солнечной радиации ослабляется в среднем на 20%. Наличие облачности ослабляет его еще в среднем на 20–30% [12, 13].

Наличие облачности вносит дополнительное ослабление в поток суммарной коротковолновой радиации, которое можно рассчитать согласно эмпирической зависимости [12, 13]:

$$Q_\Sigma = Q_\Sigma^0 \left(1 - \left(a + bN\right) N\right), \tag{6}$$

где N – количество облачности в долях единицы; a, b – эмпирические коэффициенты ($a \approx 0,4$; $b \approx 0,38$ для $\varphi = 50^0$).

Плотность теплового потока противоизлучения безоблачной атмосферы вблизи земной поверхности можно рассчитать по формуле Брента [8, 14]:

$$Q_A = \sigma T_a^4 \left(a_1 + b_1 \sqrt{p}\right), \tag{7}$$

где $T_a,[K]$ и $p,[гПа]$ – температура воздуха и давление водяного пара у поверхности земли соответственно; $a_1 = 0,526$ и $b_1 = 0,065$ $гПа^{-0,5}$ – эмпирические коэффициенты при отсутствии облачности.

Собственное излучение атмосферы при наличии сплошной облачности характеризуется усредненным по времени и пространству значением плотности потока ИК излучения [12, 15]:

$$Q_A = \sigma T_a^4 \left(1 - \left(A + D \cdot 10^{-\alpha p}\right)\left(1 - c\right)\right), \tag{8}$$

где $A = 0,18$; $D = 0,25$; $c = 0,67$ (в теплое полугодие при облачности среднего яруса на широтах $\varphi = 50^0 - 60^0 с.ш.$); $\alpha = 0,95$ $гПа^{-1}$ – нормирующий коэффициент.

Шаг 4. Расчет плотности тепловых потоков конвективного теплообмена Q_K и теплообмена испарением Q_V земной поверхности с окружающей внешней средой в соответствии с выражениями:

$$Q_K = \alpha_K \left(T_a - T_0\right), \tag{9}$$

где $\alpha_K, \left[Bm \cdot м^{-2} \cdot K^{-1}\right]$ – коэффициент конвективного теплообмена, рассчитываемый по эмпирической формуле:

$$\alpha_K = a_K + b_K \cdot Ff\ , \tag{10}$$

где $Ff, \left[м \cdot c^{-1}\right]$ – скорость ветра в приземном слое; $a_K \approx 5{,}8\ \ Bm \cdot м^{-2} \cdot K^{-1}$, $b_K = 4{,}06\ \ Дж \cdot м^{-3} \cdot K^{-1}$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от коэффициента шероховатости z_0 ПП следующим образом [14,15]:

$$a = 1{,}5 \cdot 10^3 z_0 \ln\left(\frac{10}{z_0}\right) \Big/ \ln^2\left(\frac{2}{z_0}\right);\ \ b = 90 \Big/ \left(\ln\left(\frac{10}{z_0}\right)\ln\left(\frac{2}{z_0}\right)\right). \tag{11}$$

Плотность потока тепла, затрачиваемая на испарение влаги с земной поверхности описывается эмпирическим выражением [16]:

$$Q_V = \frac{\eta}{p} L_\rho \alpha_K Ff U E \cdot 10^{-2}, \tag{12}$$

где $L_\rho, \left[Дж \cdot кг^{-1}\right]$ – удельная теплота парообразования; $\eta = 0{,}622 \left[c \cdot K \cdot м^{-2}\right]$ – эмпирический коэффициент; $U, [\%]$ – относительная влажность воздуха; $E, [гПа]$ – максимальная упругость водяного пара.

Шаг 5. Расчет пространственного распределения термодинамических температурных полей ФЦО по ТТ ОИ и ПП путем численного решения дифференциального уравнения диффузионного теплопереноса в частных производных [10, 11]:

$$\begin{aligned} C_{\rho j}(T,\theta)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left([\lambda_j(T,\theta)]_{11}\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y}\left([\lambda_j(T,\theta)]_{22}\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left([\lambda_j(T,\theta)]_{33}\frac{\partial T}{\partial z}\right), \end{aligned} \tag{13}$$

где $T = T(x,y,z,t)$ – функция температуры, $(x,y,z) \in D = \Xi \times [0,H]$, $\Xi \subset R^2$, Ξ – поверхность полуограниченной среды; $t \in [0,\tau]$, C_ρ – объемная теплоемкость; $[\lambda_j(T,\theta)]_{11}, [\lambda_j(T,\theta)]_{22}, [\lambda_j(T,\theta)]_{33}$ – компоненты тензора теплопроводности изотропной пористой среды в

зависимости от весовой влажности θ и температуры T; $j \in 1,2,3$ – порядковый номер среды.

Граничные условия теплового баланса на верхней границе среды и сопряжения слоистых сред для случая неидеального теплового контакта между двумя поверхностями выглядят следующим образом [10, 11]:

$$
\begin{aligned}
&-C^{*}\rho^{*}\alpha_K \left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=0} - L_{\rho}\alpha_K \left.\frac{\partial \upsilon}{\partial z}\right|_{z=0} - \lambda_1(T,\theta)\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=0} - B_0^{*} = \\
&= Q - C_v \left.\frac{\partial Q_v T}{\partial z}\right|_{z=0} - L_{\rho}\left.\frac{\partial Q_v}{\partial z}\right|_{z=0}; \\
&\lambda_j(T,\theta)\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=-\sum_{i=1}^{j} h_i-(j-1)\Delta h} = \\
&= \frac{1}{R_T}\left(\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=-\sum_{i=1}^{j} h_i - j\Delta h} - \left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=-\sum_{i=1}^{j} h_i-(j-1)\Delta h}\right); \\
&\lambda_j(T,\theta)\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=-\sum_{i=1}^{j} h_i-(j-1)\Delta h} = \lambda_{j+1}(T,\theta)\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=-\sum_{i=1}^{j} h_i - j\Delta h}; \\
&T_0\big|_{z=0} = \varphi_0(x,y); \\
&T_H\big|_{z=-H} = \varphi_1(x,y),
\end{aligned}
\qquad (14)
$$

где C^{*} – удельная изобарная теплоемкость воздуха; ρ^{*} – плотность воздуха; υ – массовая доля водяного пара; C_{ν} – удельная теплоемкость водяного пара; $R_T, \left[Bm^{-1}\cdot м\cdot K\right]$ – контактное сопротивление (контактная проводимость); $\varphi_0(x,y), \varphi_1(x,y)$ – известные функции начального распределения температур; Q_v – поток тепла конвективного теплообмена внутри пористой неоднородной среды; h_i – толщина i-го слоя среды; Δh – толщина контактного слоя; H – координата нижней границы среды.

Шаг 6. Вывод имитационных термограмм ФЦО для заданного временного интервала моделирования.

3. Программное обеспечение модели ФЦО в дальней ИК области

Компьютерная модель имитационной ФЦО реализована в виде специализированного программного обеспечения (ПО), выполняющего моделирование термограмм ФЦО, созданного в среде MATLAB с подключением программного пакета HYDRUS-1D, реализующего физически обоснованную численную модель тепловлагопереноса в многослойных пористых неоднородных средах, путем решения дифференциального уравнения теплопроводности 2-го порядка в частных производных с заданными начальными и граничными условиями методом конечных элементов Галёркина (рис. 2).

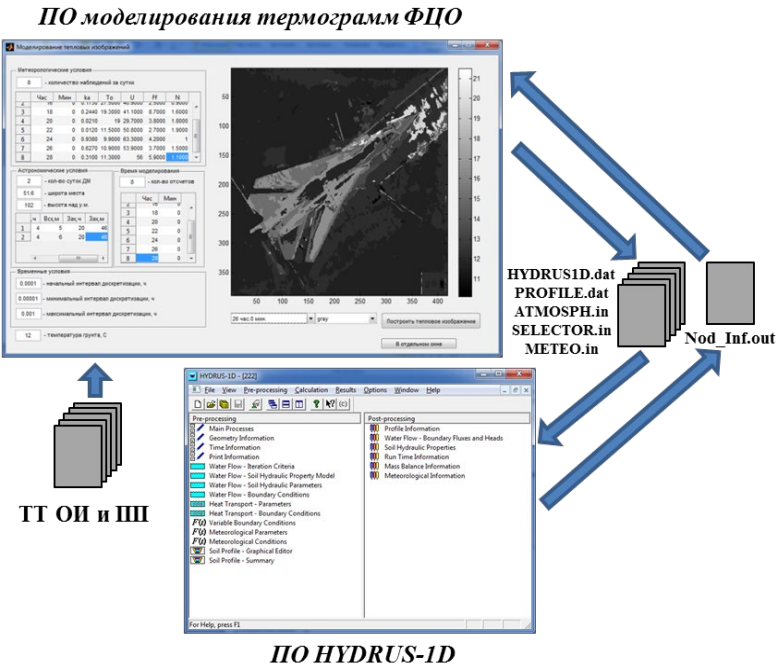


Рис. 2. ПО моделирования имитационной ФЦО в ИК диапазоне

Заключение

Таким образом, в статье предложена компьютерная модель формирования имитационной ФЦО в ИК диапазоне длин волн в виде специализированного ПО, позволяющего производить построение имитационных ИК изображений сцен по ТТ ОИ и ПП при заданных физико-географических и метеорологических условиях.

Результаты такого моделирования могут найти практическое применение при решении широкого спектра задач АКМ и дистанционного зондирования Земли как самостоятельно, так и путем комплексирования с изображениями, полученными в других спектральных диапазонах длин волн.

Список литературы

1. Лопин, А. В. Формирование инфракрасного излучения электрическими и теплопроводящими конструкциями в условиях естественного фонового облучения / А. В. Лопин, В. И. Лопин, О. Ю. Макаров // Вестник Воронеж. гос. тех. ун-та. 2009. – Т.5. – №9. – С. 137–140.
2. Мочалин, В. Д. Моделирование тепловизионных изображений наземных объектов / В. Д. Мочалин // Оптический журнал. – 2008. – №1. – С. 28–31.
3. Мурашов, М. В. Распознавание объектов в инфракрасном диапазоне: учеб. пособие / М. В. Мурашов, С. Д. Панин. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 88 с.
4. Кучерин, П. Н. Математическое моделирование тепловизионных изображений объектов / П. Н Кучерин, А. В. Лопин, О. Ю. Макаров // Вестник Воронеж. гос. тех. ун-та. 2010. – Т.6. – №11. – С. 39–43.
5. Математическая модель формирования инфракрасного излучения объекта в условиях естественного фонового облучения /П.Н. Кучерин [и др.]// Вестник Воронеж. гос. тех. ун-та. 2011. – Т.7. – №5. – С. 239–242.
6. Зимин, А. Г. Особенности моделирования сигнатур подстилающей земной поверхности в ИК диапазоне / А. Г. Зимин, С. И. Стреляев, О. А. Фомичева // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. – Вып.11. – С. 86–90.
7. Моделирование тепловых ИК-изображений земных ландшафтов / Ю. Г. Веревочкин [и др.]// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. – №6. – С. 82–86.
8. Веревочкин, Ю. Г. Исследование влияния гидрометеорологических условий на формирование тепловых полей излучения земных ландшафтов /Ю. Г. Веревочкин, Ю. А. Ильин, В. А. Малинников // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. – №6. – С. 27–35.
9. Ищук, И. Н. Компьютерная модель и алгоритм построения фоноцелевой обстановки районов дистанционного мониторинга по тепловым томограммам с учетом их географического положения и метеорологических условий / И. Н. Ищук, А. А. Долгов // Журнал

Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2020. – №13(3). – С. 350–360.

10. Алгоритм совместной обработки многоспектральных изображений по данным воздушной съемки с беспилотных летательных аппаратов / И. Н. Ищук [и др.]// Промышленные АСУ и контроллеры. 2018. – № 10. – С. 27–34.

11. Ищук, И. Н. Применение искусственных нейронных сетей в задаче классификации фоноцелевой обстановки района аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам / И. Н. Ищук, А. А. Долгов, Ю. Ю. Громов // Энергоэффективные инженерные системы: Материалы международных научно-технических конференций (Санкт-Петербург, 25 мая – 17 ноября 2023 г.). – Санкт-Петербург: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2024. – С. 42-48.

12. Матвеев, Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы /Л. Т. Матвеев; 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. – 198 с.

13. Ischuk, I. N. Method of classification of technogenic objects on the basis of construction of multilayer thermal tomograms / I. N. Ischuk, A. A. Dolgov // Journal of Physics: Conference Series. 2019. – 1368(2019)032026. DOI:10.1088/1742-6596 /1368/3/032026.

14. Веревочкин, Ю. Г. Влияние растительности на контраст яркостной температуры подстилающей поверхности в дальней ИК-области /Ю. Г. Веревочкин, Ю. А. Ильин // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. – №6. – С. 44–49.

15. Веревочкин, Ю. Г. Неоднородность поля яркостной температуры земной поверхности в дальней ИК-области спектра при наличии облачности /Ю. Г. Веревочкин, Ю. А. Ильин // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2008. – №4. – С. 51–55.

16. Гальперин, Б. М. Турбулентный тепло- и влагообмен поверхности суши и водоемов с атмосферой: учеб. пособие / Б. М. Гальперин; Ленинград, 1970. – 100 с.

Имитационное моделирование юстировки и калибровки систем технического зрения в задачах навигации и управления

И. Р. Кабиров, email: ilsur.inbox@gmail.com,
В. Г. Бондарев, Д. В. Лопаткин, Д. С. Монгуш

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В статье обоснована необходимость юстировки и калибровки бинокулярной системы технического зрения для снижения погрешностей при выполнении фотограмметрических измерений. Предложена методика юстировки и калибровки посредством получения и обработки изображений созвездия трех инфракрасных излучателей с известным взаимным расположением.*

Ключевые слова: *техническое зрение, беспилотный летательный аппарат, юстировка, калибровка, фотограмметрия, стереокамера*

Введение

Системы технического зрения (СТЗ) на основе двух разнесенных фотокамер применяются для выполнения фотограмметрических измерений, построения карт глубины и восстановления трёхмерной структуры пространства и объектов по набору двумерных изображений. В последнее десятилетие одним из наиболее актуальных направлений применения таких бинокулярных СТЗ (БСТЗ) стало навигационное обеспечение подвижных объектов (роботов, автомобилей). Очевидно, что в беспилотной авиации СТЗ способны не просто восполнить утрату ситуационной осведомленности летчика, перемещенного на землю, но и обогатить ее новыми приобретениями в виде навигационных дополнений. Но для применения на беспилотных летательных аппаратах СТЗ должны иметь существенно лучшие точностные характеристики, что обусловливает необходимость снижения погрешностей, вызванных взаимным положением фотокамер посредством калибровки БСТЗ.

Большинство авторов работ в области разработки и применения БСТЗ ограничиваются калибровкой на основе метода, предложенного Jean-Yves Bouguet, реализованного в библиотеке компьютерного зрения OpenCV или приложения Stereo Camera Calibrator из пакета MatLab [1]. В них процедура определения внутренних и внешних параметров фотокамер совмещена с компенсацией дисторсии посредством

© Кабиров И. Р., Бондарев В. Г., Лопаткин Д. В., Монгуш Д. С., 2025

многоракурсной съемки калибровочного шаблона с известным взаимным расположением ключевых точек и решении переопределённой системы уравнений. В результате формируются матрицы внутренних параметров фотокамер и так называемые фундаментальная и существенная матрицы, предназначенные для определения эпиполярных линий и взаимного расположения фотокамер соответственно, по которым получаются ректифицированные изображения.

Недостатком метода можно считать то, что результат калибровки БСТЗ сильно зависит как от качества изготовления калибровочного шаблона, так и условий его съемки.

Известен также способ юстировки совместно с калибровкой БСТЗ, основанный на статическом сравнении тестового изображения от правой и левой фотокамер [2]. Для определения и коррекции угловых смещений фотокамер требуется наличие в кадре значительно удаленного от места съемки объекта с четким контуром, а для линейных – наличие в кадре сферического калибровочного объекта. Определение и коррекция угловых и линейных смещений производится поэтапно, в связи с чем каждый новый этап вносит погрешности в предыдущие, поэтому весь процесс должен проводиться итерационно до заданной точности.

Таким образом, для реализации системы определения координат подвижного объекта, основанной на БСТЗ, возникает необходимость в менее трудозатратном, неитеративном способе её калибровки.

Методика юстировки и калибровки бинокулярной системы технического зрения

Рассмотрим структуру БСТЗ, в которой две разнесенные фотокамеры, имеющие идеальную компоновку, обусловленную параллельным положением оптических осей фотообъективов *ФО*1 и *ФО*2, а также таким положением фоточувствительных матриц *ФМ*1 и *ФМ*2, когда они лежат в одной плоскости, а их поперечные оси лежат на одной прямой (рис. 1).

Пусть прямоугольная измерительная система координат *OXYZ* связана с подвижным объектом, на котором установлена БСТЗ. Система координат $O_1X_1Y_1Z_1$, связанная с первой фотокамерой, начало которой совпадает с центром *ФМ*1 и фокусом объектива, оптический центр которого находится в точке F_1. Ось O_1Z_1 совпадает с *OZ*, а оси O_1Y_1 и O_1X_1 параллельны осям *OY* и *OX* соответственно. Аналогично вводится система координат $O_2X_2Y_2Z_2$. Расстояние между центрами *ФМ*1 и *ФМ*2 назовем базой *B*, тогда точки O_1 и O_2 расположены на оси *OZ* и

равноудалены от начала координат O на расстояние $-B/2$ и $B/2$ соответственно.

Вычисление координат произвольной точки пространства Р, имеющей проекцию на обе фотоматрицы, осуществляется по соотношениям:

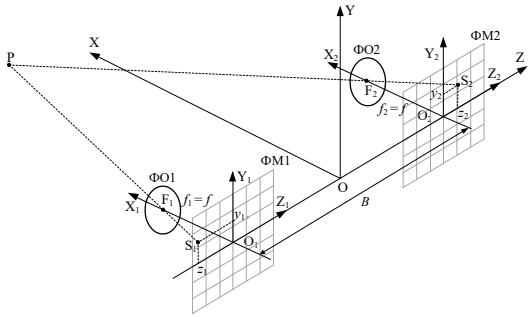


Рис. 1. Схема БСТЗ с идеальной компоновкой

$$X_{\text{Р}} = f\left(1-\frac{B}{z_1-z_2}\right);\ Y_{\text{Р}} = y_1\left(\frac{B}{z_1-z_2}\right);\ Z_{\text{Р}} = \frac{B}{2}\left(\frac{z_1+z_2}{z_1-z_2}\right) \qquad (2)$$

где $f = f_1 = f_2$ – фокусное расстояние объективов фотокамер; y_1, z_1 и y_2, z_2 – координаты точек проекции на первой и второй фотоматрицах (S_1 и S_2 соответственно) точки *P* пространства.

Необходимость выполнения калибровки *БСТЗ* обусловлена тем, что при выводе уравнений (1) предполагается определенное расположение фотокамер, достичь которое в реальной системе невозможно. Поэтому рассмотрим процесс измерения координат точки пространства Р посредством БСТЗ с геометрическими несовершенствами, в которой положение первой (левой) фотокамеры соответствует схеме БСТЗ с идеальной компоновкой в соответствии с рис. 1, а вторая (правая) фотокамера произвольно отклонена на малые углы крена γ, рыскания ψ, тангажа υ относительно осей *OX*, *OY*, *OZ* соответственно от идеального положения, обозначенного на рис. 2 в системе координат $O_2X`_2Y`_2Z`_2$.

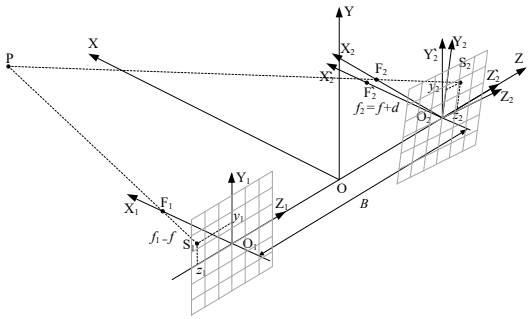


Рис. 2. Схема БСТЗ с геометрическими несовершенствами

Тогда преобразования координат от $O_2X_2Y_2Z_2$ к $O_2X`_2Y`_2Z`_2$ описываются матрицей направляющих косинусов

$$\mathrm{A}=\begin{pmatrix} \cos\psi\cos\upsilon & \sin\gamma\sin\psi-\cos\gamma\cos\psi\sin\upsilon & \cos\gamma\sin\psi+\sin\gamma\cos\psi\sin\upsilon \\ \sin\upsilon & \cos\gamma\cos\upsilon & -\cos\upsilon\sin\gamma \\ -\sin\psi\cos\upsilon & \sin\gamma\cos\psi+\cos\gamma\sin\upsilon\sin\psi & \cos\gamma\cos\psi-\sin\gamma\sin\upsilon\sin\psi \end{pmatrix}$$

Учитывая малость углов $\gamma,\psi,\upsilon,$ разложения коэффициентов матрицы направляющих косинусов в ряды Маклорена заменим их первыми членами. Тогда матрица направляющих косинусов примет вид

$$\mathbf{A}=\begin{pmatrix} 1 & -\upsilon & \psi \\ \upsilon & 1 & -\gamma \\ -\psi & \gamma & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

Учтем также, что фокусные расстояния фотокамер БСТЗ в реальной системе несколько отличаются. Тогда соотношения (1) с учетом (2) преобразуются в следующие соотношения

$$X=f\left(1-\frac{\Delta f z_2+\left(f+\Delta f-\upsilon y_2+\psi z_2\right)B-f^2\psi}{\left(f\psi+\gamma y_2-z_2\right)f+z_1\left(f+\Delta f-\upsilon y_2+\psi z_2\right)}\right);$$
$$Y=y_1\left(1-\frac{X}{f}\right);\quad Z=z_1\left(1-\frac{X}{f}\right)-\frac{B}{2}, \tag{4}$$

где $f=f_1$ – фокусное расстояние объектива левой фотокамеры; $Df=f_2-f_1$ – разнофокусность объективов.

Соотношения (3) справедливы для случая, когда углы γ, ψ, υ малы, что достигается выполнением предварительной юстировки БСТЗ с приемлемо достижимой точностью перед калибровкой, посредством которой необходимо идентифицировать искомые параметры. Для этого используем тройку маломощных светодиодных инфракрасных излучателей (созвездие маяков), и разместим их в вершинах правильного треугольника, вписанного в окружность с радиусом R (рис. 3). Излучение маяков формирует их изображение малых габаритов на фотоматрицах БСТЗ в точках S_{1k} и S_{2k} с координатами y_k, z_k для k = =1…3.

Для описания взаимного положения созвездия маяков и БСТЗ введем горизонтальную прямоугольную систему координат $OXYZ$, связанную с созвездием маяков, начало координат которой расположено в центре окружности, ось OY совпадает с вертикалью, опущенной к плоскости $M_1M_2M_3$, ось OX проходит в сторону, направленную от БСТЗ, а ось OZ образует правую систему координат.

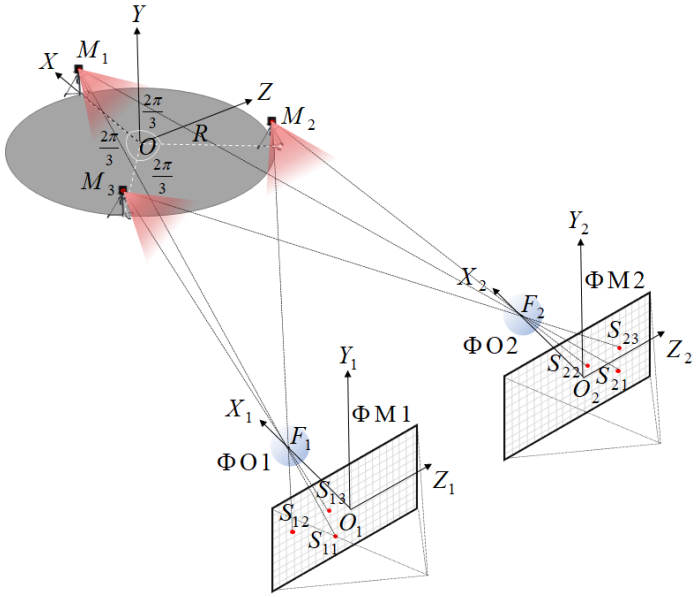


Рис. 3. Схема юстировки и калибровки БСТЗ

Юстировка состоит в механическом приведении оптических осей объективов фотокамер к параллельному положению, к совпадению

плоскостей фотоматриц $O_1Y_1Z_1$ и $O_2Y_2Z_2$ с плоскостью OYZ связанной системы координат и совпадению осей O_1Z_1 и O_2Z_2 с осью OZ. Чувствительными органами для выполнения этих действий являются сами фотокамеры, через которые наблюдаются изображения маяков.

Для значительного повышения отношения сигнал-шум совместно с объективами фотокамер используем узкополосные интерференционные фильтры с максимумом спектральной характеристики, соответствующей длине волны излучения маяков. Органами механической юстировки являются регулировочные элементы (трехвинтовые выравнивающие основания и поворотные платформы), с помощью которых совмещают изображения маяков с центрами круговых меток малого радиуса, программно-сформированными на изображении с фотокамер в соответствии с их вычисленными местоположениями путем решения системы уравнений, представленной в работе [3]

$$\begin{cases} (a_{13}f + a_{11}z_1)(X - l_{1x}) + (a_{23}f + a_{21}z_1)(Y - l_{1y}) + (a_{33}f + a_{31}z_1)(\\ (a_{12}f + a_{11}y_1)(X - l_{1x}) + (a_{22}f + a_{21}y_1)(Y - l_{1y}) + (a_{32}f + a_{31}y_1) \\ (a_{13}f + a_{11}z_2)(X - l_{2x}) + (a_{23}f + a_{21}z_2)(Y - l_{2y}) + (a_{33}f + a_{31}z_2 \\ (a_{12}f + a_{11}y_2)(X - l_{2x}) + (a_{22}f + a_{21}y_2)(Y - l_{2y}) + (a_{32}f + a_{31}y_ \\ (a_{13}f + a_{11}z_3)(X - l_{3x}) + (a_{23}f + a_{21}z_3)(Y - l_{3y}) + (a_{33}f + a_{31}z_3 \\ (a_{12}f + a_{11}y_3)(X - l_{3x}) + (a_{22}f + a_{21}y_3)(Y - l_{3y}) + (a_{32}f + a_{31}y_3 \end{cases} \quad (5)$$

где X,Y,Z – координаты центра фотоматрицы в системе координат $OXYZ$; l_{kx}, l_{ky}, l_{kz} – координаты маяков с номерами $k = 1\ldots3$ в системе координат OXYZ, описываемые выражением

$$\begin{cases} l_{kx} = R\cos\left(\dfrac{2\pi(k-1)}{3}\right); \\ l_{ky} = 0; \\ l_{kz} = R\sin\left(\dfrac{2\pi(k-1)}{3}\right). \end{cases}$$

$a_{11}\ldots a_{33}$ – коэффициенты матрицы направляющих косинусов **A**, которая для заданного углового положения фотокамер $\gamma = \gamma_л = \gamma_n = 0$, $\psi = \psi_л = \psi_n = 0$, $\upsilon = \upsilon_л = \upsilon_n = 0$ принимает вид

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Кроме того, параметры взаимного расположения левой (л) и правой (п) фотокамер и созвездия маяков R, $X = X_л = X_п$, $Y = Y_л = Y_п$, $Z = -Z_л = Z_п = B/2$ должны быть измерены, а параметры фокусного расстояния фотокамер $f_л$ и $f_п$ известны или вычислены.

Отметим, что для решения системы уравнений (4) важно выполнить нумерацию маяков, от которой зависит их положение в системе координат *OXYZ*. На рис. 3 ось *OX* проходит через маяк M_1, а последующая нумерация выполняется по часовой стрелке при взгляде против направления оси OY. Тогда координаты программно-формируемых круговых меток на изображениях y_k, z_k вычисляются в соответствии с выражениями

$$\begin{aligned} z_1 &= -f\frac{Z}{X-R}; \quad z_2 = -f\frac{2Z-\sqrt{3}R}{2X+R}; \quad z_3 = -f\frac{2Z+\sqrt{3}R}{2X+R}; \\ y_1 &= -f\frac{Y}{X-R}; \quad y_2 = -f\frac{Y}{2X+R}; \quad y_3 = -f\frac{Y}{2X+R}. \end{aligned} \tag{6}$$

Таким образом, формирование на изображениях с фотокамер круговых меток, определяющих положение изображений маяков идеально установленной фотокамеры, выполняется в точках с вычисленными координатами (5), как это показано на рис. 4.

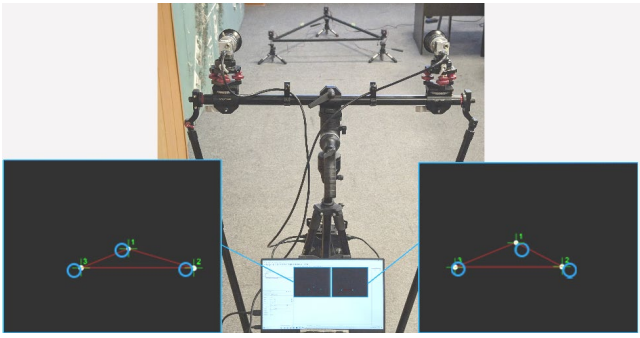


Рис. 4. Юстировка БСТЗ с помощью программного обеспечения

Сущность юстировки заключается в совмещении посредством воздействия на регулировочные элементы изображений маяков с

центрами круговых меток на изображениях, а результатом ее выполнения является достижение малости угловых отклонений каждой из фотокамер от идеального положения. Достоинством такой юстировки можно считать получение обратной связи в режиме реального времени на мониторе, что позволяет снизить число итераций и, таким образом, сократить время юстировки. Тем не менее, опыт выполнения юстировочных действий показал, что эта процедура не может быть выполнена с прецизионной точностью, которая не может превышать размер пикселя, что требует осуществления последующей калибровки, которая позволяет алгоритмически компенсировать остаточные геометрические несовершенства взаимного положения фотокамер.

Калибровка БСТЗ выполняется на основе стократной съемки созвездия маяков с последующей субпиксельной обработкой изображений с целью определения координат центров изображений маяков M_1, M_2, M_3. Осреднение результатов этих многократных измерений обеспечивает снижение погрешностей, обусловленных шумами фотоматриц.

Относительные координаты углового и линейного положения каждой из фотокамер вычисляются посредством решения системы нелинейных уравнений (4) относительно дальности *X*, высоты 4, бокового отклонения *Z*, углов крена γ, рыскания ψ, тангажа υ. Нелинейность вносят коэффициенты матрицы направляющих косинусов, представляющие собой произведения тригонометрических функций углов крена, рыскания, тангажа, а также произведения коэффициентов матрицы направляющих косинусов на дальность, высоту и боковое отклонение. Поэтому система уравнений может быть решена одним из численных методов [4].

Определение параметров, необходимых для калибровки *БСТЗ*, осуществляется на основе полученных выше результатов по следующим формулам

$$\psi = \psi_2 - \psi_1;\ \upsilon = \upsilon_2 - \upsilon_1;\ \gamma = \gamma_2 - \gamma_1;\ B = z_2 - z_1, \qquad (7)$$

Заключение

Таким образом, калибровка предполагает как предварительный этап, так и основной этап функционирования БСТЗ в качестве измерителя. На предварительном этапе выполняется фотоэкспозиция созвездия маяков с последующим вычислением калибровочных параметров (8), которые на этапе функционирования используются в измерительных соотношениях, учитывающих измеренные несовершенства установки фотокамер.

Список литературы

1. Zhong, W. Camera calibration method of binocular stereo vision based on OpenCV / W. Zhong, ; Dong, X // In Proceedings of the AOPC 2015: Image Processing and Analysis, Beijing, China, 5–7 May 2015; SPIE: Bellingham, WA, USA, 2015; Volume 9675, pp. 571–576.

2. Медведев, А.В. Методы и алгоритмы адаптации и обеспечения многофункциональности системы технического зрения наземных подвижных объектов [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.13.05 / Медведев Артем Викторович – Курск, 2008. – 126 с.

3. Способ определения местоположения и углов ориентации летательного аппарата относительно взлетно-посадочной полосы и устройство для его осуществления : пат. 2347240 Российская Федерация. № 2007115257/09 / Бондарев В.Г., Гузеев А.Е., Ипполитов С.В., Лейбич А.А. ; заявл. 23.04.07. ; опубл. 20.02.09, Бюл. №5. – 11 с.

4. Вержбицкий В. М. Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения: учеб. пособие для ВУЗов / В. М. Вержбицкий − М.: Высшая школа, 2000. – 266 с.

Учет особенностей влияния многолетнемерзлого грунта на надежность и безопасность прокладываемых нефте- и газопроводов

А. С. Кирносов, email: kirnosov2018@bk.ru [1]
Д. В. Гедзенко, email: slk_met@mail.ru [2]

[1] РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (г. Москва)
[2] ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В работе представлены особенности учета влияния многолетнемерзлого грунта на надежность и безопасность прокладываемых нефте- и газопроводов.*

Ключевые слова: *магистральные нефте-, газопроводы, многолетнемерзлые грунты, надежность проектного положения, способы прокладки нефтепроводов на ММГ, специализированное программное обеспечение Frost.Термо.*

Введение

На сегодняшний день магистральные нефтепроводы имеют широкую протяженность на территории Российской Федерации. Благодаря им осуществляется транспортировка нефти к потребителю из самых удаленных районов нашей страны. Сеть магистральных нефтепроводов активно развивается, поскольку исследуются новые территории и совершенствуются методы строительства трубопроводов.

Значительные запасы нефти сосредоточены в Западной Сибири, где повсеместно распространены многолетнемерзлые грунты (ММГ). Строительство магистральных нефтепроводов в таких условиях вызывает множество проблем и трудностей, так как необходимо учитывать, что в процессе последующей эксплуатации трубопроводов существует вероятность возникновения неблагоприятных процессов в грунте, таких как, например, его растепление, которое в зависимости от величины выталкивающей силы может привести к осадке или всплытию нефтепровода, т.е. к изменению его проектного положения и напряженно-деформированного состояния [1].

Таким образом, чтобы обеспечить надежность проектного положения магистральных нефтепроводов необходимо еще на стадии проектирования предусмотреть комплекс защитных инженерных

© Кирносов А. С., Гедзенко Д. В., 2025

мероприятий, способных уменьшить влияние неблагоприятных факторов на магистральный нефтепровод.

В этой связи, тематика данной работы, посвященной изучению такого природного явления, как многолетнемерзлый грунт, его особенностей и влияния на надежность и безопасность прокладываемых нефтепроводов, а также рассмотрению мер защиты трассы нефтепровода от неблагоприятных факторов на ММГ, является актуальной и необходимой для современной нефтяной отрасли.

Цель работы – повышение качества инженерных мероприятий, используемых для защиты трасс магистральных нефтепроводов от неблагоприятных факторов, снижающих показатели надежности их проектного положения.

1. Понятие многолетнемерзлого грунта и его характеристики

Многолетнемерзлым (или вечномерзлым) грунтом называют такой грунт, который находится в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет.

Многолетнемерзлые грунты, которые по-другому называют также криолитом, являются четырехкомпонентной системой связанных между собой минеральных и газообразных частиц, незамерзшей воды и льда, который скрепляет эти частицы вместе. Многолетнемерзлые грунты могут быть сплошными и прерывистыми.

Российская Федерация также состоит в числе передовых стран в области проектирования, строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов в условиях ММГ, поскольку большая часть нефтегазовых месторождений сосредоточена в районах Западной Сибири и Крайнего Севера.

Крупнейшими магистральными нефтепроводами РФ являются:

– магистральный нефтепровод «Ванкор-Пурпе», принадлежащий ПАО «НК «РОСНЕФТЬ»;

– магистральные нефтепроводы «ВСТО» и «Заполярье-Пурпе», принадлежащие ПАО «Транснефть».

Стоит отметить, что одними из серьезных проблем, возникших в ходе эксплуатации «ВСТО», стали случаи всплытия или просадки отдельных участков нефтепровода. Как выяснилось позже, причиной этого являлось то, что на этапе разработки проектных решений не было учтено тепловое влияние трубопровода на мерзлый грунт.

На сегодняшний день с целью обеспечения надежности проектного положения магистральных нефтепроводов в условиях ММГ на этапе проектирования должны учитываться природно-климатические и инженерно-геокриологические особенности района прохождения

трассы, а также степень допустимого вмешательства в массив исследуемого мерзлого грунта.

Данные требования вызваны тем, что нефтепровод в процессе эксплуатации оказывает тепловое воздействие на окружающий его мерзлый грунт и изменяет его структуру и физико-механические свойства. Более того в результате изменения природного равновесия грунта, вызванного механическим воздействием на него, существует вероятность возникновения развития опасных геологических процессов в грунте (например образование термокарстов) [2].

Исходя из теплового режима трубопровода, для его участков выделяют горячий, теплый и холодный типы. Горячим называется участок, если его температура в течение всего года находится выше 0°С; теплым, когда его температура может варьироваться между положительными и отрицательными значениями температуры, но среднегодовая температура обязательно выше 0°С; и наконец холодным, если его температура ниже 0°С в течение всего года (при этом допускаются эпизодические повышения температуры выше 0°С) [2].

2. Нормативная база обеспечения мер защиты нефтепровода в условиях ММГ

В процессе сооружения трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах применяют два основных принципа [3, 4].

Первый принцип подразумевает под собой, что массив грунта должен оставаться в неизменном мерзлом состоянии как в ходе строительства, так и непосредственно в ходе дальнейшей эксплуатации.

Данный принцип применяется только в том случае, если затраты, потребовавшие для его реализации оказались экономически целесообразными. Его рекомендуется использовать в зонах распространения твердомерзлых грунтов, а также в сейсмически активных районах.

Второй принцип подразумевает под собой, что массив мерзлого грунта будет находиться в оттаявшем состоянии перед сооружением трубопровода или достигнет проектной глубины оттаивания в процессе его эксплуатации.

Данный принцип рекомендуется использовать для грунтов с малой величиной относительного сжатия при оттаивании, например в скальных.

Строительство нефтепроводов, а также меры защиты их трассы в условиях многолетнемерзлых грунтов должны приниматься согласно требованиям следующих нормативных документов:

– ГОСТ 20522-2012 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний»;

– СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»;

– СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»;

– СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»;

– СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты»;

– СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»;

– СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы»;

– СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы»;

– СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»;

– СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений»;

– СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов»;

– СП 284.1325800.2016 «Трубопроводы промысловые для нефти и газа»;

– СП 410.1325800.2018 «Трубопроводы магистральные и промысловые для нефти и газа. Строительство в условиях вечной мерзлоты и контроль выполнения работ»;

– СП 86.13330.2022 «СНиП III-42-80* Магистральные трубопроводы».

3. Рекомендуемые способы прокладки нефтепроводов на ММГ

На сегодняшний день выделяют три основных способа прокладки магистральных нефтепроводов: подземный (в траншеях), наземный (на поверхности земли с обвалованием) и надземный (на опорах). Выбор того или способа зависит от величины теплового взаимодействия нефтепроводов с окружающей средой, а также от факторов, влияющих на сохранение особенностей конструктивной схемы в течение всего периода эксплуатации.

Подземный способ прокладки подразумевает под собой укладку трубопровода непосредственно в траншею и его дальнейшую засыпку. Данную схему прокладки рекомендуется использовать в зимнее время, чтобы обеспечить проезд строительной технике.

Глубина заложения нефтепровода должна определяться исходя из принятых проектных конструктивных решений, требований охраны окружающей среды и нормативной документации.

К преимуществам подземной прокладки можно отнести меньшую вероятность повреждений и технологичность строительства.

Отрицательной стороной подземной схемы укладки является трудность выявления и устранения аварий на нефтепроводе.

С целью прогнозирования значений просадки нефтепровода необходимо знать такую величину, как глубина протаивания грунта под трубой h_n. С помощью нее помимо величины просадки трубопровода можно также определить в дальнейшем прогнозные значения напряженно-деформированного состояния труб. Ореол оттаивания грунта показан на рис. 5.

Величина h_n рассчитывается по формулам (1), (2), (3) Форхгеймера [1]:

$$h_n = -\frac{a(1+b)}{(1-b)}, \tag{1}$$

$$a = \sqrt{h_0 - \frac{D_н}{4}}, \tag{2}$$

$$b = \sqrt{\exp(-\frac{2t_{гр}\ln\frac{4h_0}{D_н}}{\frac{\lambda_T}{\lambda_M}t_{mp} - t_{гр}})}, \tag{3}$$

В выражениях (1) – (3) h_0 представляет собой расстояние от поверхности до центра трубы; $D_н$ – наружный диаметр нефтепровода; $t_{гр}$ – температура ММГ; t_{mp} – температура стенки трубопровода; λ_M, λ_T – коэффициенты теплопроводности мерзлого и талого грунта соответственно.

4. Математическая модель

Для решения такой нестационарной задачи, как распространение тепла в трехмерном пространстве в специализированном программном обеспечении Frost.Термо взято за основу использование известного уравнения теплопроводности. В этом уравнении выполнен учет таких важных параметров, как конвективный перенос тепла, а также выполнен учет энергии фазовых превращений. Внешний вид уравнения теплопроводности представлен с использованием выражения (4):

$$\left(C(T) + \rho_b L\frac{\partial w_w(T)}{\partial T}\right)\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-\lambda(T)\nabla T) + C_w u\nabla T = 0, \tag{4}$$

где T – температура, °С; $C(T)$ – функция, характеризующая температурную зависимость объемной теплоемкости грунта, Дж/(м^3 · °С); $w_w(T)$ – температурная зависимость количества воды, находящейся в грунте в жидком состоянии; ρ_b – плотность исследуемого грунта, кг/м^3; L – удельная теплота фазового перехода, Дж/кг; t – время, с; $\lambda(T)$ – температурная зависимость теплопроводности грунта, Вт/(м · °С); C_w – объемная теплоемкость воды, Дж/(м^3 · °С); u – вектор, характеризующий скорость фильтрации грунтовых вод, м/с.

На следующем этапе были определены необходимые граничные условия, которые использовались для построения модели.

В используемом программном комплексе можно задать следующие граничные условия.

Граничное условие первого рода, представленное выражением (5). Это условие характеризует зависимость изменения температуры от времени.

$$T = T_{ext}(t). \tag{5}$$

Граничное условие второго рода, представленное выражением (6). С помощью этого условия можно задать временную зависимость теплового потока.

$$n \cdot (\lambda \nabla T) = q_0(t). \tag{6}$$

Граничное условие третьего рода (теплообмен по Ньютону), представленное выражением (7). Данное выражение учитывает зависимость и температуры, и коэффициента теплообмена (при необходимости учитывает зависимость дополнительного теплового потока) от времени:

$$n \cdot (\lambda \nabla T) = \alpha(t)(T_{ext}(t) - T) + q_0(t). \tag{7}$$

где коэффициент теплообмена, Вт/(м2 °С); температура внешней среды, °С; температура грунта, °С; тепловой поток, Вт/м2; время, с.

Граничное условие третьего рода, учитывающее величину теплообмена, связанного с излучением (теплообмен по Стефану Больцману). Это условие формализовано выражением (8). В данном выражении есть возможность выполнить учет влияния теплообмена за счет теплового излучения. В предыдущем граничном условии такая возможность отсутствует.

$$n \cdot (\lambda \nabla T) = \varepsilon\sigma\left((273{,}15 + T_{amb}(t))^4 - (273{,}15 + T)^4\right) + \alpha(t)(T_{ext}(t) - T \tag{8}$$

.

где температура источника теплового излучения, °С; постоянная Стефана – Больцмана – 5,67 10-8 Вт/(м2 К4); степень черноты поверхности.

В трехмерном пространстве решение уравнения теплопроводности, представленного выражением (4), в работе осуществлялось с использованием численных методов, а именно – явного метода конечных разностей.

Суть данного метода заключается в нанесении дискретной прямоугольной сетки на область расчета с последующими вычислениями и поиском решений непосредственно в узлах данной сетки. При этом, для каждого узла на основе шаблона разностной схемы составляется разностное уравнение. Полученные линейные уравнения объединяются в систему, решением которой являются результаты для исследуемой расчетной области. Необходимо отметить, что в программном комплексе Frost.Термо задача оценки влияния различных источников тепла на свойства многолетнемерзлых грунтов решается в одном направлении. На рис.1 как раз показано влияние таких различных источников тепла в совокупности.

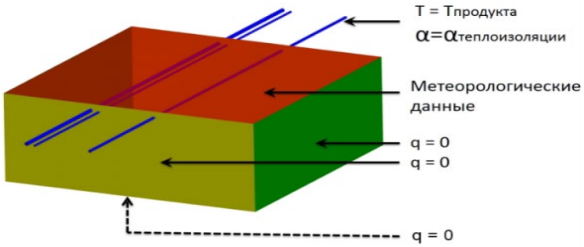


Рис. 1. Пример задания граничного условия для компьютерной модели

Трехмерная геометрия моделируемого участка грунта изображена на рис. 2.

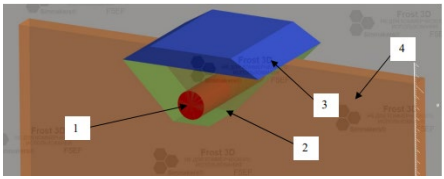


Рис. 2. Трехмерная геометрия моделируемого участка грунта
1 – нефтепровод; 2 – траншея; 3 – насыпь; 4 – грунт

Результаты вычисления в программе Frost.Термо показаны на рис. 3–5.

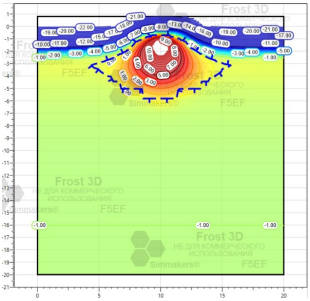


Рис. 3. Результаты отображения распределения доли незамерзшей воды в сечении расчетной области для глины (21.10.2025 г.)

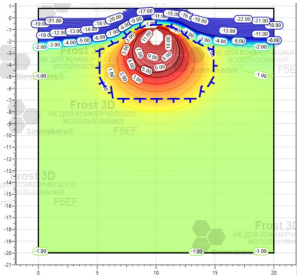


Рис. 4. Результаты отображения распределения доли незамерзшей воды для глины (21.10.2027 г.)

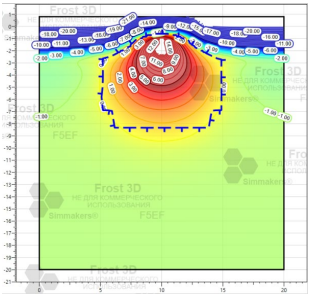


Рис. 5. Результаты отображения распределения доли незамерзшей воды в сечении расчетной области для глины (21.10.2029 г.)

Таким образом, в ходе анализа факторов, влияющих на растепление грунта, можно сделать следующие выводы:

1. Факторы, такие как «тип грунта…», а также «диаметр нефтепровода» и «температура грунта» влияют существенно на величину оттаивания ММГ. Для фактора «диаметр нефтепровода» ореол оттаивания меняется от 3,9 м до 5,97 м. Для фактора «температура грунта» заданного для 3 полей температур с шагом 2 С, ореол оттаивания меняется от 2,69 м до 5,97 м.

2. Результаты численного моделирования ореола оттаивания грунтов вокруг нефтепровода показывают, что такие мероприятия, как применение теплоизоляции с меньшим коэффициентом теплопроводности и применение СОУ эффективно снижают величину оттаивания грунта под трубопроводом. Теплоизоляция с коэффициентом теплопроводности Вт/(м К) позволило снизить растепление грунта на 24%. Величина оттаивания грунта с использованием СОУ снизила величину растепление грунта на 95%.

Стоит отметить, что ореол оттаивания, растущий в латеральном направлении, может быть опасен для объектов, находящихся рядом с трубопроводом (ЛЭП, притрассовые дороги и пр.).

Использование ПО FROST 3D позволило оценить степень оттаивания ММГ вокруг нефтепровода с учетом влияния следующих факторов: геолого-литологического строения разреза, метеорологических условий, температуры нефти, толщины и типа теплоизоляции трубы и конструктивных особенностей траншеи, в которой размещен нефтепровод.

Список литературы

1. Димов, Л. А. Строительство нефтепроводов на многолетнемерзлых грунтах в южной части криолитозоны Центральной и Восточной Сибири / Л. А. Димов. – Нефтяное хозяйство, 2008. – № 2. С. 104 – 106.

2. ВСН 007-99 Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Конструкция и балластировка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://riles.strovinf.rU/Index2/l/4294849/4294849541. html (дата обращения: 04.05.24). – Загл. с экрана.

3. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document / 573659326 (дата обращения: 04.05.24). – Загл. с экрана.

4. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200103173 (дата обращения: 04.05.24).

Факторизация пространства исходных метеопризнаков в задаче разработки прогнозов погоды

С. Л. Кирносов, email: slk_met@mail.ru [1]
М. И. Шапошников, email: shap_m@mail.ru [1]
А. Э. Бадыгин, email: arbad1a2@mail.ru [1]

[1] ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В работе показана возможность применения факторного анализа при разработке прогнозов погоды. Исследованы прогностические метеорологические модели, построенные как в пространстве коррелируемых исходных предикторов, так и в пространстве ортогональных общих факторов. Представлены точечные статистические оценки таких моделей, свидетельствующие о предпочтительном применении методов сжатия исходной информации.*

Ключевые слова: *факторный анализ, регрессионный анализ, метеопризнаки, ортогональное пространство, предикторы.*

Введение

В настоящее время метеорологические условия оказывают значительное влияние на эффективную и безопасную работу авиации. Выполнение различных полетных заданий требует тщательного учета метеорологических условий как фактических, так и прогностических. В то же время большинство метеорологических величин являются трудно прогнозируемыми ввиду влияния на них большого количества физических факторов [1]. Такие факторы являются входными параметрами прогностических моделей. При этом взаимная корреляция входных параметров, а также их большое количество оказывают негативное влияние на качество выходных параметров прогностических моделей. При этом уменьшаются численные значения характеристик точности и надежности прогностической информации о погоде. С целью устранения такого негативного влияния в работе исследована возможность использования факторного анализа на примере разработки способа прогноза низкой облачности.

Таким образом, целью данной работы является повышение качества прогностической метеорологической информации на основе

© Кирносов С. Л., Шапошников М. И., Бадыгин А. Э., 2025

применения методов факторного анализа при обработке пространства исходных погодных предикторов.

Исходные параметры прогностической модели

Высота нижней границы облаков (ВНГО) является важнейшим метеорологическим фактором, определяющим степень сложности метеорологических условий, так как он оказывает непосредственное влияние на работу авиации [1].

В то же время низкая облачность (ВНГО<300 м) является одной из наиболее трудно прогнозируемых метеовеличин. Для обеспечения безопасной и эффективной работы авиации требуется разработать способ прогноза низкой облачности с высоким уровнем точности и надежности.

В работе в качестве исходных метеопредикторов рассматривались следующие величины: дефицит точки росы (D_{03}), скорость ветра у земли (V_{03}), относительная влажность воздуха (f_{03}) за 03 часа местного времени, а также дефицит точки росы (D_{06}), скорость ветра у земли (V_{06}), относительная влажность воздуха (f_{06}) за 06 часов. Предиктантом является высота нижней границы облаков (H_{09}) за 09 часов местного времени.

Архивная выборка составлялась для случаев с радиационным выхолаживанием в холодное полугодие по г. Воронеж за период с 2013 по 2023 год. Объем обучающей части архивной выборки составил 800 элементов, а объем ее контрольной части – 400 элементов.

На следующем этапе в работе использовалась процедура последовательного присоединения предикторов. Анализ прогностических моделей с различным количеством предикторов (от 1 до 8) с использованием материала контрольной выборки показал, что лучшим уравнением является уравнение, состоящее из 4 предикторов. Внешний вид уравнения и те предикторы, которые вошли в него, в данной работе нет смысла показывать, поскольку в сравнении с уравнением, состоящем из общих ортогональных факторов (это уравнение было получено на следующем и основном этапе работы), оно показало более низкий уровень точечных статистических оценок.

Итак, основным этапом в работе являлось использование методов факторного анализа для преобразования пространства исходных коррелируемых признаков в ортогональное пространство общих факторов [2-7].

В качестве исходных данных для факторного анализа являлась наша архивная выборка, представленная в виде матрицы

$$Z_{n\times N} = \left(z_{ij}\right)_{n}^{N}. \quad (1)$$

В выражении (1) Z является обозначением признака, N – объем обучающей выборки (800 элементов), n – порядковый номер предиктора (от 1 до 6), i – порядковый номер столбца в матрице, а j – строки матрицы.

В работе взят за основу тот факт, что любой i-ый центрированный относительно математического ожидания и нормированный по среднему квадратическому отклонению признак Z_i^* может быть в рамках факторного анализа представлен в виде линейной комбинации меньшего числа общих F_j и характерных ε_i факторов:

$$Z_i^* = \sum_{j=1}^{L} a_{ij}\, F_j + \upsilon_i \varepsilon_i, \forall i = \overline{1,\, n}\ , \quad (2)$$

где a_{ij} – коэффициенты, характеризующие влияние j-го общего фактора на i-ый исходный признак (факторные нагрузки); υ_i – i-ая факторная нагрузка при характерном факторе; L – количество используемых в работе общих факторов $\left(L < n\right)$.

Следует отметить, что в работе под общим фактором понимается фактор, оказывающий влияние более чем на один метеорологический признак, а под характерным – фактор, оказывающий влияние лишь на какой-то один из исходных метеопризнаков [2, 4, 7].

Число полученных общих факторов должно быть существенно меньше числа исходных признаков. Также необходимо определить такую совокупность общих факторов, которая наилучшим образом описывала бы результаты наблюдений, включенных в исследуемую архивную выборку.

Для расчета оценок средних значений общих факторов в работе использованы результаты анализа ковариационной (корреляционной) матрицы совокупности результатов наблюдений с использованием выражения (3) [2].

$$F_j = \sum_{i=1}^{n} \frac{l_{ij}}{\sqrt{\lambda_j}} Z_i^*, \quad \forall j = \overline{1,\, L}\ , \quad (3)$$

где l_{ij} – значение собственного вектора, соответствующее собственному числу λ_j ковариационной (корреляционной) матрицы результатов наблюдений [2].

В факторном анализе важнейшей задачей является задача определения важности вклада каждого из полученных общих факторов.

Общепринято, что показателем важности общего фактора является показатель, определяемый соотношением:

$$\beta_j = \lambda_j / \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \ . \qquad (4)$$

Чем больше показатель β_j, тем более существенный вклад вносит в общую дисперсию результатов наблюдений j-ый фактор. Для первого общего фактора этот показатель является самым большим и обычно составляет 40-50% всей объясненной общей дисперсии. Второй фактор обладает существенно меньшей важностью, по сравнению с первым – 20-25% дисперсии. Третий фактор – еще меньше и т.д. В теории факторного анализа обычно принято то, что достаточно снять до 80-95% полной дисперсии [2]. В настоящей работе первые три фактора объясняют 87,6% всей дисперсии, что является достаточно хорошим статистическим результатом.

К полученным 3-м общим факторам F_1, F_2, F_3 на следующем этапе применены методы регрессионного анализа и разработано линейное уравнение регрессии, представленное выражением (5):

$$H_{09}^{*} = 0{,}37 + 0{,}41F_1 + 0{,}42F_2 - 0{,}24F_3 \ . \qquad (5)$$

Выражение (5) представляет собой прогностическое уравнение для ВНГО в пространстве трех общих факторов F_1, F_2, F_3, каждый из которых содержит информацию обо всех 6 исходных метеопризнаков (предикторов).

Таким образом, исходное пространство коррелируемых предикторов уменьшено в 2 раза и преобразовано в ортогональное пространство общих факторов.

В выражении (5) прогностическое значение ВНГО H_{09}^{*} представлено безразмерной величиной в центрированном относительно оценки математического ожидания и нормированном по оценке среднего квадратического отклонения виде и переводится в метры с помощью выражения (6):

$$H_{09} = H_{09}^{*} \cdot \sigma_{H_{09}} + m_{H_{09}} . \quad (6)$$

где $m_{H_{09}}$ (м) – оценка математического ожидания, а $\sigma_{H_{09}}$ (м) – оценка среднего квадратического отклонения прогноза низкой облачности в условиях радиационного выхолаживания.

На заключительном этапе в работе проведено статистическое оценивание 2-х выражений: прогностического уравнения без факторов и с факторами. Анализ критериев успешности уравнения (5) позволяет сделать заключение о том, что преобразование пространства исходных коррелируемых признаков в ортогональные общие факторы значительно улучшает точность прогностического уравнения (5).

Поэтому для разработки способов прогноза метеорологических величин целесообразно выполнять преобразование исходной информации с использованием факторного анализа, что будет способствовать достижению цели – повышения качества прогностической метеорологической информации при обеспечении эффективной и безопасной работы авиации.

Список литературы

1. Матвеев, М. Г. Управление организационно-технической системой в условиях метеорологической неопределенности. Монография /М. Г. Матвеев, В. В. Михайлов. – Воронеж: ВВВАИУ (ВИ), 2006. – 128 с.

2. Колемаев, В. А. Теория вероятностей и математическая статистика / В. А. Колемаев, О. В. Староверов, В. Б. Турундаевский. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.

3. Динамика атмосферы: Учебник / В. В. Клемин [и др.]. – СПб.: Наука, 2013. – 421 с.

4. Кудашкин, А. С. Теория вероятностей и математическая статистика в метеорологии / А. С. Кудашкин, К. И. Кудрявая. – М.: Военное издательство, 1985. – 324 с.

5. Матвеев, М. Г. Оптимизация использования стохастической информации при принятии управленческих решений / М. Г. Матвеев, В. В. Михайлов // Системы управления и информационные технологии. – № 1 (23), 2006. – С. 85-89.

6. Матвеев, М. Г. Прогностическая метеорологическая модель динамики многомерного векторного нестационарного процесса / М. Г. Матвеев, С. Л. Кирносов // Нелинейный мир. – № 9, 2014 г. – С. 11 -15.

7. Михайлов, В. В. Способ прогноза высоты нижней границы облаков при обеспечении полетов авиации МЧС России /

В. В. Михайлов, С. Л. Кирносов, В. О. Селиванов // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: V Всероссийская научно-практическая конференция (26 октября 2011 года). – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2011. – Ч. 1. – С. 148-150.

Моделирование угломерно-корреляционного поиска и координатометрии источников радиоизлучения на основе использования дискретных методов обработки

Ю. Л. Козирацкий,
М. Л. Паринов,
С. В. Петренков, e-mail: sema1709@yandex.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *На основе использования дискретных методов обработки разработана статистическая имитационная модель корреляционного обнаружителя источников радиоизлучения, позволяющая провести оценку статистических и вероятностных характеристик поиска.*

Ключевые слова: *корреляционный обнаружитель, пространственная пеленгация источников радиоизлучения, угломерно-корреляционный поиск, дискретный метод обработки.*

Введение

Радиоэлектронная разведка является ключевым звеном в формировании информационной компоненты всестороннего обеспечения основных систем управления, что накладывает жесткие требования к возможному значению качественных показателей разведывательных средств, в частности, средств пеленгования и координатомерии.

В [1] предложен способ определения координат излучающих радиоэлектронных средств, позволяющий снять ограничение на их пространственное размещение, а в [2,3] – реализующий локализацию области пространства поиска за счет разрежения входного потока контактов на основе взаимного корреляционного анализа аддитивных сигнальных функций каждого из пространственно-разнесенных пеленгаторов.

Вместе с тем, в представленных работах не в полной мере рассмотрены вопросы расчета вероятностных характеристик обнаружения и различения сигналов при реализации дискретных методов обработки, осуществляемых указанным выше способом.

Проведение подобной оценки, учитывающей особенности пространственной нестабильности электромагнитных параметров среды

© Козирацкий Ю. Л., Паринов М. Л., Петренков С. В., 2025

распространения, инструментальных ошибок измерения фазы сигнала, возможно реализовать, используя методы имитационного моделирования.

Сказанное выше позволяет сформулировать цель статьи, заключающейся в разработке имитационной модели угломерно-корреляционного поиска и координатометрии источников радиоизлучения при использовании дискретных методов обработки, функционирующей в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.

Разработка модели

Исходя из того, что наблюдение за источниками радиоизлучения осуществляется в дискретные моменты времени, реализация сигнально-шумовой функции представляет собой множество отчетов случайных величин $\{\xi_1\}^N$ – для ПС_1 и $\{\xi_2\}^N$ – для ПС_2. При этом будем считать, что элементы каждого из множеств определяются выборочными значениями принятых колебаний $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$ каждой из пеленгаторных станций в моменты времени $t_0,\ldots,t_i,\ldots,t_{N-1}$, взятых из интервала времени наблюдения T: $(t_1 \le t_i \le t_1 + T)$. Расстояние по временной оси между соседними отчетами примем одинаковыми, то есть $\Delta t = t_i - t_{i-1} = const$. Таким образом, для множества отчетов реализаций сигнально-шумовых функций имеем:

$$\begin{aligned} \{\xi_1\}^N &= \{\xi_1(t_0),\ldots,\xi_1(t_i),\ldots,\xi_1(t_{N-1})\} \\ \{\xi_2\}^N &= \{\xi_2(t_0),\ldots,\xi_2(t_i),\ldots,\xi_2(t_{N-1})\} \end{aligned} \qquad (1)$$

где

$i = \overline{0, N-1}$ – номер отчета;

$N = T \cdot f_д$ – количество отчетов;

$f_д$ – частота дискретизации.

Учитывая дискретный характер наблюдения, структура корреляционного обнаружителя примет вид, представленный на рис. 1.

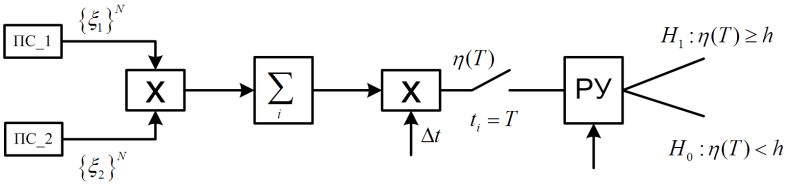


Рис. 1. Структура корреляционного обнаружителя, реализованного на дискретном множестве отчетов времени

Согласно структуре корреляционного обнаружителя, гипотезам H_0 и H_1 соответствуют следующие значения функции $\eta(T)$:

$$
\begin{aligned}
H_0: \quad & \eta\big/_{\theta=0}(T) = \eta_0(T) = \Delta t[\sum_{i=0}^{N-1} \xi_1(t_i)\xi_2(t_i)] = \\
& \Delta t[\sum_{i=0}^{N-1}(\sum_{k=1}^{K} S_k(t_i) + n_1(t_i))(\sum_{m=1}^{M} S_m(t_i) + n_2(t_i)) \\
H_1: \quad & \eta\big/_{\theta=1}(T) = \eta_1(T) = \Delta t[\sum_{i=0}^{N-1} \xi_1(t_i)\xi_2(t_i)] = \\
& = \Delta t[\sum_{i=0}^{N-1}(S_I(t_i) + \sum_{k=1}^{K} S_k(t_i) + n_1(t_i))(S_{II}(t_i) + \sum_{m=1}^{M} S_m(t_i) + n_2(t_i))
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

где

$n_{1(2)}(t_i) = n_{1(2),i}$ – отчеты шума в дискретные моменты времени t_i.

Принимая, что дискретные отчеты шума являются независимыми случайными величинами с равными математическими ожиданиями и среднеквадратическими отклонениями распределений каждого из них, совместная плотность вероятности определяется функцией вида:

$$
p(n_0, \ldots, n_i, \ldots n_{N-1}) = (\frac{\Delta t}{\pi N_0})^{\frac{N}{2}} \exp(-\frac{\Delta t}{N_0}\sum_{i=0}^{N-1} n_i^2), \qquad (3)
$$

где N_0 – спектральная плотность мощности шума.

Немаловажным фактором при формировании статистической имитационной модели является обеспечение устойчивости результатов моделирования, которая фактически определяется множественным характером реализаций модели. Возникает задача определения

достаточности статистических испытаний, при которой достигается требуемый уровень устойчивости результативного показателя.

С формализованной точки зрения, приведенные выше условия определяются согласно следующему вероятностному критерию:

$$P\left(\sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{N-1}\left(m_j-\frac{\sum_{i=0}^{N-1} m_i}{N}\right)^2}{N-1}}<\varepsilon\right)\geq\alpha, \tag{4}$$

где

$m_k=\frac{\sum_{i=0}^{k}\eta_i}{k+1}$ – среднее значение корреляционного интеграла, рассчитанного для $k+1$ – ой реализации;

$\tilde{m}=\frac{\sum_{i=0}^{N-1} m_i}{N}$ – статистическая оценка математического ожидания среднего значения корреляционного интеграла;

$\tilde{\sigma}=\sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{N-1}\left(m_j-\frac{\sum_{i=0}^{N-1} m_i}{N}\right)^2}{N-1}}$ – среднеквадратическое отклонение величины среднего значения корреляционного интеграла;

η_j – значение корреляционного интеграла, рассчитанного для j – ой реализации;

ε – величина доверительного интервала по значению среднеквадратического отклонения на множестве реализаций среднего значения корреляционного интеграла;

α – требуемый уровень достоверности результатов моделирования.

На рис. 2 приведены графики зависимости среднего значения величины корреляционного интеграла, а также критериальных параметров, входящих в выражение (4), от количества реализаций имитационной модели.

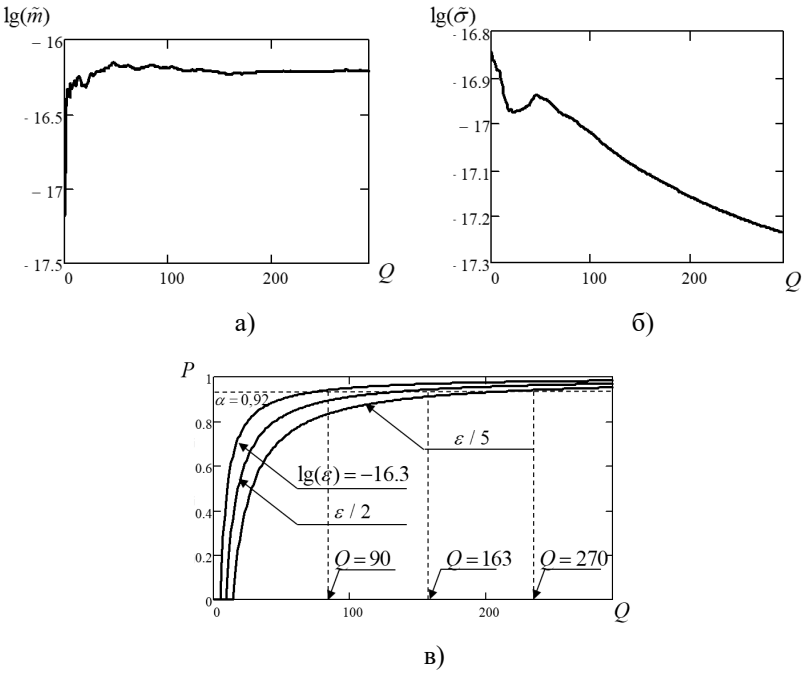


Рис. 2. Результаты оценки статистических показателей имитационной модели

Представленные на рис. 2 зависимости могут быть использованы в интересах обоснования требуемого количества реализаций имитационной модели для достижения заданного уровня достоверности попадания среднеквадратического отклонения величины среднего значения корреляционного интеграла в доверительный интервал. К примеру, задаваясь уровнем достоверности сходимости среднего величиной $\alpha = 0,92$, уменьшение значения доверительного интервала, определяемого по величине среднеквадратического отклонения в 2 раза, приводит к увеличению требуемого количества реализаций имитационной модели с $Q = 90$ до $Q = 163$.

Приведенные выше условия формирования параметров имитационной модели, которые характеризуются, в том числе, особенностями исходных данных, определяют необходимость включения в структуру модели элемента, обеспечивающего корректировку количества итерационных реализаций.

Структуру имитационной модели, обеспечивающей формирование статистического распределения корреляционного интеграла, определим в виде, представленном на рис. 3.

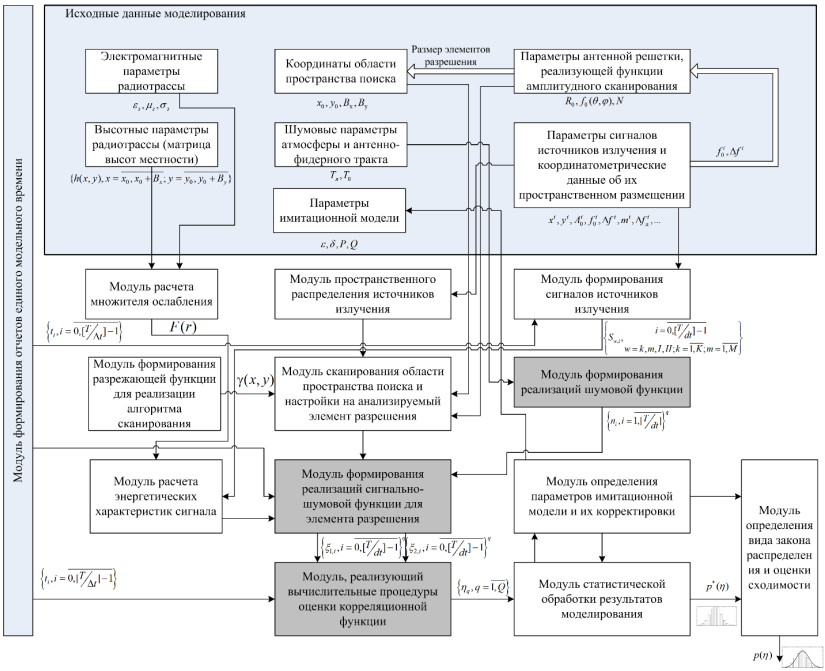


Рис. 3. Структура имитационной модели

На рис. 3 серым цветом приподняты модули, реализация функций которых определяется количеством «прогонов» имитационной модели (Q).

Полученное на основе имитационного моделирования статистическое распределение величины корреляционного интеграла $p^*(\eta)$ применительно к различным условиям моделирования, характеризуемым наличием ($\theta = 1$) либо отсутствием ($\theta = 0$) сигнала источника излучения, анализируемого элемента пространственного разрешения, позволяет оценить величину вероятности правильного обнаружения P_D. В интересах оценки последней воспользуемся следующим соотношением:

$$P_D = \Delta\eta \cdot \sum_{j=0}^{J-1} p_j^*(\eta) \Big/ \eta \geq h, \qquad (5)$$

где

$J = [5 \cdot \lg Q]$ – количество интервалов статистической оценки плотности вероятности распределения величины корреляционного интеграла;

$[\bullet]$ – операция определения целой части;

$\Delta\eta$ – величина интервала изменения корреляционного интеграла;

h – величина порога принятия решения о наличии сигнала источника, расположенного в анализируемом элементе разрешения, определение которого осуществляется на основе критерия Неймана-Пирсона в соответствии с выражением:

$$h = \arg\left(\sum_{j=0}^{J-1} p_j^*(\eta_0) \Big/ \eta_0 \geq h = P_{\text{лт}}\right) \qquad (6)$$

Где $P_{\text{лт}}$ – вероятность ложной тревоги.

Приведенные выше соотношения позволяют, опираясь на результаты статистической оценки величины корреляционного интеграла, определить качественные показатели обнаружения сигнала в элементе разрешения применительно к различным пространственным и энергетическим условиям.

Для проведения вычислительного эксперимента в качестве модели сигнала рассмотрим амплитудно-модулированный сигнал, параметры которого, такие как амплитуда, несущая частота, частота модулирующего колебания и глубина модуляции, могут изменяться.

Возникновение фазового рассогласования, имеющего случайный характер, обуславливается в первую очередь уникальными особенностями распространения радиоволн. Подробное обоснование параметров статистического распределения рассогласования фаз, характеризуемого приведенными выше обстоятельствами, представлено в [4].

На рис. 4, 5 приведены результаты моделирования в виде статистических плотностей вероятности распределения величины корреляционного интеграла η для различных значений соотношения сигнал/шум (q), а также зависимости вероятности правильного обнаружения от q при различных значениях величины фазового рассогласования.

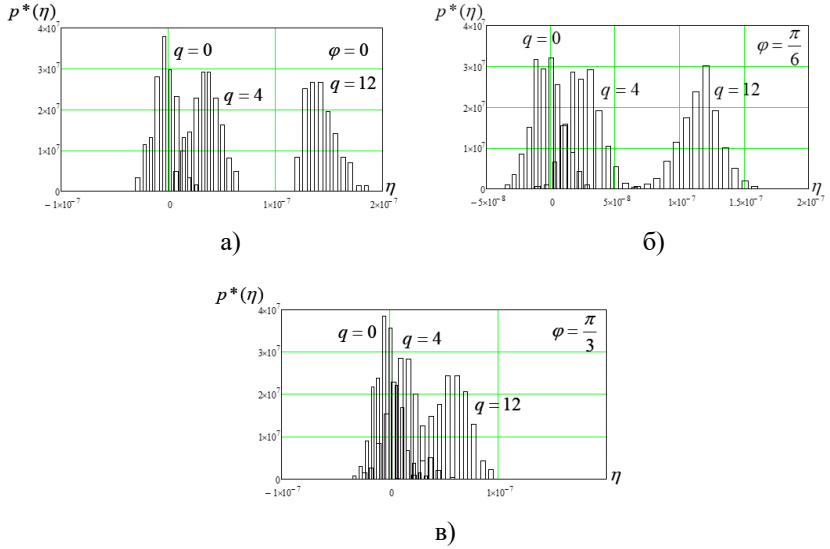


Рис. 4. Зависимости вероятности правильного обнаружения от соотношения сигнал/шум для различных условий моделирования

Заключение

Анализ полученных в работе зависимостей показывает, что увеличение фазового рассогласования приводит к уменьшению вероятности принятия правильного решения о наличии в анализируемом элементе разрешения источника излучения, причем эта зависимость существенно не линейна, в частности, при $\sqrt{\frac{2E_S}{N}} = 5$ изменение фазового рассогласования с $\varphi = 0$ до $\varphi = \frac{\pi}{6}$ вызывает изменение вероятности на величину $\Delta P_s = 0.05$, изменение же рассогласования с $\varphi = \frac{\pi}{6}$ до $\varphi = \frac{\pi}{3}$ – $\Delta P_s = 0.18$ (рис. 5г).

Таким образом, в настоящей статье предложена структура и на ее основе разработана компьютерная имитационная модель процесса пространственной пеленгации источников излучения на основе корреляционного анализа результатов наблюдений с применением дискретного метода обработки, позволяющая провести статистический анализ и оценить вероятностные характеристики обнаружения. На

основе вероятностного критерия решена задача определения достаточности статистических испытаний, при которой достигается требуемый уровень устойчивости результативного показателя.

Список литературы

1. Способ определения координат местоположения источника радиоизлучения: пат. 2601871 Российская Федерация: МПК G01S 5/12 / Козирацкий Ю. Л. [и др.]; заявитель и патентообладатель ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж). − №2014154357/07; заявл. 30.12.2014; опубл. 10.11.2016, бюл. № 31. – 8 с.

2. Способ пространственного мониторинга источников электромагнитного излучения: пат. 2540126 Российская Федерация: МПК G01S 5/12 / Козирацкий Ю. Л. [и др.]; заявитель и патентообладатель ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж). − №2013143448/07; заявл. 25.09.2013; опубл. 10.02.2015, бюл. № 4. – 8 с.

3. Паринов М. Л. Способ координатометрии наземных источников радиоизлучения с режекцией входного потока по пространственному признаку / М. Л. Паринов, С. Е. Балаин, С. В. Петренков // Вестник ВУНЦ ВВС «ВВА». – 2015. – №2(23). – С. 390-395.

4. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности: монография / Е. Л. Фейнберг – Москва : Наука. Физматлит, 1999. – 496 с.

5. Модели пространственного и частотного поиска: монография / Ю. Л. Козирацкий [и др.]; отв. ред. Ю. Л. Козирацкий. – Москва: Радиотехника, 2014. – 342 с.

6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерное приложение: учебное пособие для втузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 2-е изд. – Москва : Высшая школа, 2000. – 480 с.

Компьютерная модель процесса наведения прибора в сложных метеоусловиях

Ю. Л. Козирацкий, email: UrLeo@bk.ru
Д. В. Прохоров, email: dvp2201@rambler.ru
В. С. Калинин, email: vasek888@list.ru
А. А. Баркалов, email: barkalov_anton_a@mail.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *На основе использования теорий графов, автоматического управления и полумарковских случайных процессов разработана динамическая модель процесса наведения оператором ручного лидара на цель в сложных метеоусловиях для случая, когда область неопределенности разбивается на четыре равных прямоугольника. При допущении экспоненциальных законов распределения времени переходов из состояния в состояние реализована компьютерная модель, позволяющая определять вероятность нахождения метки прицеливания в текущий момент времени в заданном прямоугольнике области неопределенности, обусловленной снижением условий видимости, и учитывающая подготовку оператора.*

Ключевые слова: *модель, прицеливание, область неопределенности, лидар, процесс наведения.*

Введение

В современных системах обеспечения безопасности широко применяются технологии зондирования с использованием электромагнитного излучения, включая ручные лидары для контроля скорости. Неблагоприятные метеоусловия, в частности дымка, туман, могут существенно влиять на эффективность их функционирования и использования [1, 2, 3]. Возникает необходимость учета возникающей в этих условиях неопределенности при оценке эффективности наведении лидара на объект контроля.

Поэтому целью работы являлась разработка компьютерной модели, позволяющей оценивать эффективность процесса наведения оператором ручного лидара на цель в сложных метеоусловиях.

© Козирацкий Ю. Л., Прохоров Д. В., Калинин В. С., Баркалов А. А., 2025

1. Постановка задачи

Пусть оператор лидара производит прицеливание по объекту размером $l \times h$, при этом наведение осуществляется по центру объекта с координатами на плоскости (i, j) (рис.1). В определенный момент времени на линии визирования «лидар – цель» формируется дымка размером $ON \times OM$ метра, после чего оператор начинает осуществлять прицеливание «по памяти» в область, ограниченную прямоугольником размером $L \times H$. В данной ситуации оператор будет осуществлять прицеливание, последовательно смещаясь от координаты последнего положения прицела (в отсутствие дымки) (i, j) вверх или вниз по оси ординат и влево или вправо по оси абсцисс. При этом возможен переход как в следующее положение, так и в предыдущее. Данный процесс осуществляется до некоторых конечных положений n, $n + k_1$ по оси абсцисс и m, $m + k_2$ по оси ординат. С целью упрощения и наглядности представления модели ограничимся двумя положениями по каждой из осей, что соответствует попаданию в область из четырех прямоугольников z. Необходимо оценить вероятность нахождения метки прицеливания в произвольный момент времени в прямоугольниках z области $L \times H$ $P_z(t)$.

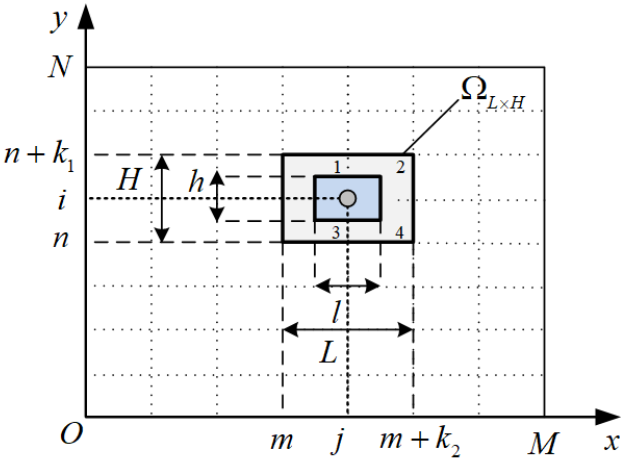


Рис. 1. Геометрия задачи

2. Разработка аналитической модели

Приведенные рассуждения позволяют представить динамику процесса прицеливания в виде графа состояний, показанного на рис. 2.

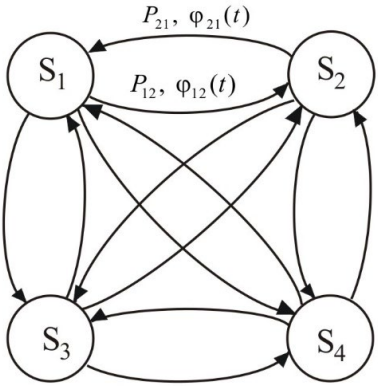


Рис. 2. Граф состояний, отображающий динамику протекания процесса перемещения метки прицеливания по четырем прямоугольникам

На рис. 2 приняты обозначения состояний S_z – состояния, при которых метка прицеливания находится в соответствующем прямоугольнике z.

При разработке модели будем использовать метод вероятностного моделирования полумарковских процессов [4]. С учетом этого каждый переход будет характеризоваться вероятностными и вероятностно-временными характеристиками в виде вероятностей перехода P_{ij} и плотностей вероятностей распределения времени нахождения в одном состоянии i при переходе в другое состояние j $\varphi_{ij}(t)$.

На основе использования предложенного в [4] методического подхода, заключающегося в замещении переходов процесса из состояния в состояние инерционными звеньями с передаточными функциями, определяемыми преобразованием Лапласа от произведения вероятности перехода на плотность вероятности распределения времени перехода из состояния i в состояние j $W_{ij}(s) = L_s\left[P_{ij}\varphi_{ij}(t)\right]$, динамическую модель процесса прицеливания представим в виде, приведенном на рис. 3.

Вероятности нахождения метки прицеливания в прямоугольниках области $L \times H$ в текущий момент времени могут быть получены следующим образом

$$P_z(t) = L_s^{-1}\left[\frac{1}{s}\tilde{P}_z(s)\right], \quad (1)$$

где $L_s^{-1}[...]$ – обратное преобразование Лапласа.

Вероятностно-временные зависимости нахождения метки прицеливания в соответствующих прямоугольниках представляют собой реакцию динамической системы на входное воздействие A, описывающее начальное состояние системы и представляющее собой совокупность воздействий в виде дельта-функций с масштабирующими интегральными множителями a_z на соответствующие сумматоры, дискретное распределение которых может описываться любым законом, при этом $A = \sum_{z=1}^{4} a_z = 1$.

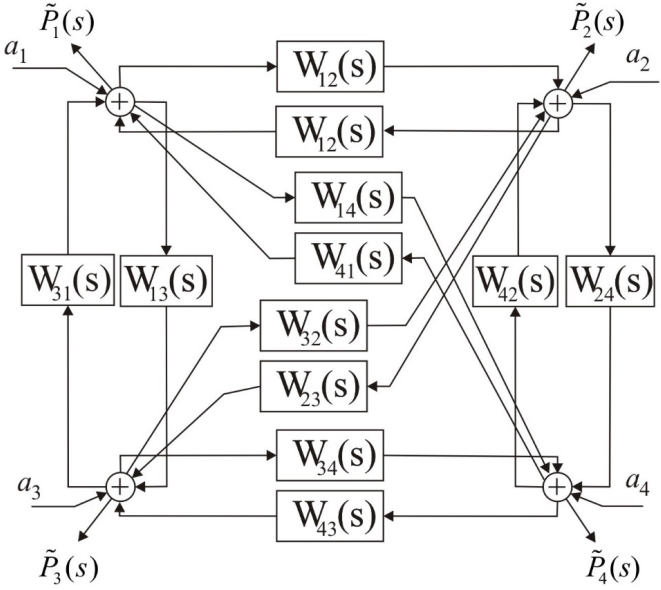


Рис. 3. Динамическая модель процесса прицеливания в форме передаточных функции

Попадание излучения лидара в объект в общем случае будет зависеть от выполнения двух совместных событий: правильного прицеливания A (точка прицеливания $\in z$ прямоугольнику области $\Omega_{L\times H}$) и наличия объекта в точке прицеливания B. Тогда вероятность попадания излучения лидара в объект может быть определена как

$$P_n(t) = P_z(A,t) \cdot P_н(B,t), \quad (2)$$

где $P_z(A,t)$ – вероятность правильного прицеливания к текущему моменту времени; $P_н(B,t)$ – вероятность нахождения объекта в точке прицеливания к текущему моменту времени.

3. Разработка компьютерной модели

Решение рассматриваемой задачи удобно при компьютерном моделировании, в частности использовании среды моделирования динамических объектов Simulink из состава универсального языка технических вычислений MATLAB.

Предположим, что плотности вероятностей распределения времени нахождения в одном состоянии при переходе в другое состояние определяются экспоненциальными распределениями. Тогда передаточные функции переходов $W_{ij}(s)$ можно записать как

$$W_{ij}(s) = P_{ij}\frac{\lambda_{ij}}{s+\lambda_{ij}}, \quad (3)$$

где $\lambda_{ij} = 1/\overline{T}_{ij}$ – интенсивности переходов из состояния i в состояние j, связаны со средним временем переходов $\overline{T}_{ij}$ обратной зависимостью [4].

Реализация разработанной динамической модели представлена на рис. 4.

На сумматоры системы подавались воздействия a_z с амплитудами 0,5; 0,28; 0,17; 0,05 (рис. 5а) и 1; 0; 0; 0 (рис. 5б) соответственно, которые определяли распределение вероятности нахождения метки прицеливания в начальный момент времени. Средние времена всех переходов принимались равными 1 с, а вероятности переходов: $P_{12} = P_{32} = P_{42} = 0,5$; $P_{13} = P_{14} = P_{31} = P_{34} = P_{41} = P_{43} = 0,25$; $P_{21} = P_{23} = P_{24} = 0,333$. Выходы полученной схемы подключались к осциллографу (Scope), показания которого соответствовали искомым вероятностям.

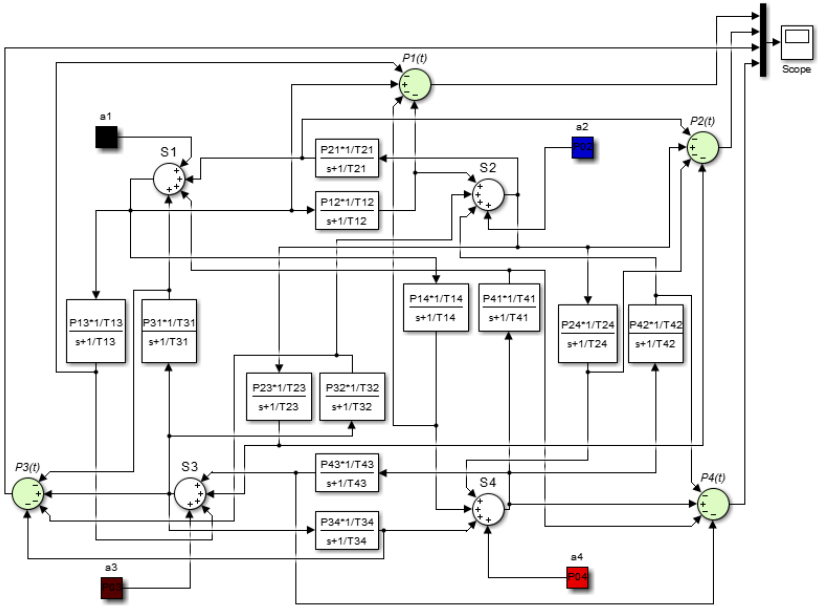
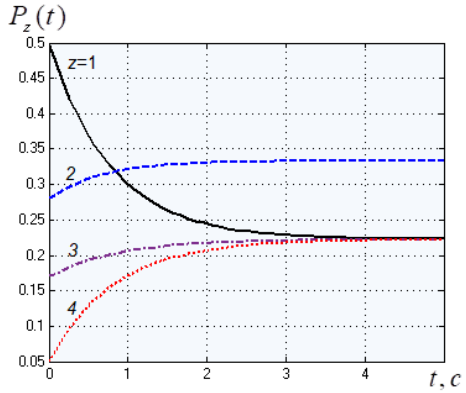


Рис. 4. Модель в системе MATLAB (Simulink)

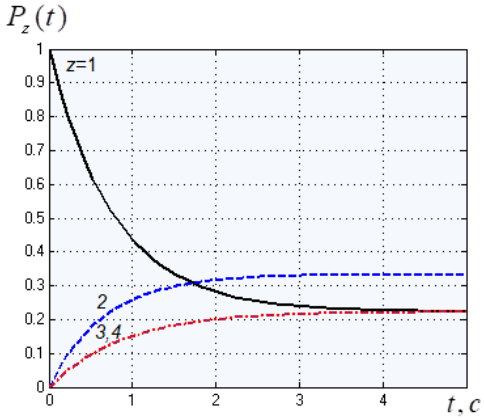
Результаты анализа хода компьютерного эксперимента показывают адекватность разработанной модели изменяемым исходным данным. Компьютерное моделирование позволило существенно снизить трудоемкость вычислений и повысить оперативность расчетов.

Заключение

Таким образом, на основе использования теорий графов, автоматического управления и полумарковских случайных процессов разработана динамическая модель процесса наведения оператором ручного лидара на цель в сложных метеоусловиях для случая, когда область неопределенности разбивается на четыре равных прямоугольника. При допущении экспоненциальных законов распределения времени переходов из состояния в состояние в системе MATLAB (Simulink) реализована компьютерная модель, позволяющая определять вероятность нахождения метки прицеливания в текущий момент времени в заданном прямоугольнике области неопределенности, обусловленной снижением условий видимости, и учитывающая подготовку оператора через вероятностные и вероятностно-временные характеристики переходов.



а



б

а – a_z *=0,5; 0,28; 0,17; 0,05, б –* a_z *=1; 0; 0; 0 (*$z = 1..4$*)*

Рис. 5. Графики зависимостей вероятности нахождения метки прицеливания в прямоугольниках области $L \times H$ от времени

Список литературы

1. Зуев, В. Е. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы / В. Е. Зуев, В. В. Зуев. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 232 с.

2. Козирацкий, А. Ю. Поиск цели оптико-электронными средствами в условиях нестационарных маскирующих помех / А. Ю.

Козирацкий, З. Б. Федукович, Д. В. Прохоров, И. В. Бурзак // Радиотехника. – 2005. – № 7. – С. 63-65.

3. Козирацкий, Ю. Л. Методика оценки эффективности применения аэрозольных образований для защиты объектов от прицельной стрельбы из гранатомета / Ю. Л. Козирацкий, Д. В. Прохоров // Журнал Сибирского федерального университета "Техника и технологии". – 2020. – № 13(7). – С. 894-905.

4. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения: монография / Ю. Л. Козирацкий [и др.]; под ред. Ю. Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2013. – 232 с.

Компьютерная модель процесса поиска беспилотного летательного аппарата на фоне ложных объектов

Ю. Л. Козирацкий, email: UrLeo@bk.ru
Д. В. Прохоров, email: dvp2201@rambler.ru
А. А. Лесняк, email: andrey.lesnyak.2002@mail.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *С использованием методов теории вероятностей, теории графов, автоматического управления разработана компьютерная модель процесса поиска оптико-электронным средством беспилотного летательного аппарата на фоне ложных объектов, учитывающая влияние их количества и степени подобия на эффективность поиска.*

Ключевые слова: *модель, поиск, обнаружение, беспилотный летательный аппарат, ложный объект.*

Введение

В настоящее время одной из актуальных задач средств мониторинга воздушного пространства является обнаружение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [1, 2]. В процессе выполнения таких задач оптико-электронными приборами (телевизионными или тепловизионными камерами) в поле зрения могут попадать другие схожие по архитектуре, размерам и кинематике объекты – ложные объекты (ЛО), что вероятно будет приводить к снижению эффективности обнаружения истинного объекта. Для оценки эффективности поиска в таких условиях необходима разработка специальных моделей и методик.

Поэтому целью работы являлась разработка модели процесса поиска оптико-электронным средством БЛА на фоне ложных объектов, обеспечивающей оценку эффективности поиска в зависимости от степени подобия и количества ложных объектов.

1. Постановка задачи

Процесс поиска телевизионной (тепловизионной) камерой (ТВК) истинного объекта среди ложных объектов можно представить в виде последовательной смены наблюдаемых ТВК объектов. Смена наблюдаемых объектов происходит в связи с изменением положения

© Козирацкий Ю.Л., Прохоров Д.В., Лесняк А.А., 2025

поля зрения камеры в результате просмотра сектора поиска. При этом просмотр сектора поиска может осуществляться как поэлементный анализ всей площади или как анализ возможных объектов (контрастных выбросов) [3], находящихся в секторе поиска. Предположим, что в секторе поиска находится один истинный объект (БЛА) и определенное количество ложных объектов. Поиск истинного объекта осуществляется одной ТВК так, что после выявления контрастных выбросов в секторе поиска происходит их детальный анализ.

2. Разработка аналитической модели

Корректное описание подобных процессов может быть осуществлено с использованием полумарковских процессов [4]. В качестве показателя эффективности выберем вероятность правильного обнаружения БЛА к текущему моменту времени t на фоне $N_{ло}$ ложных объектов $P_{б}\left(N_{ло},t\right)$.

Динамику процесса поиска БЛА на фоне ложных объектов можно представить в виде ориентированного графа состояний, показанного на рис.1.

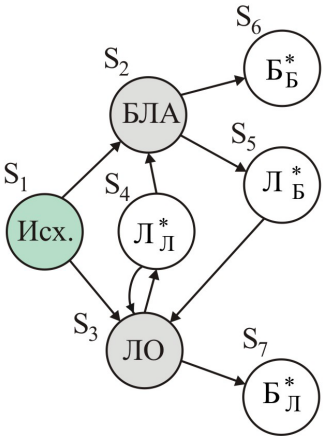


Рис. 1. Граф состояний

На рис. 1 приняты следующие обозначения состояний: S_1 – исходное состояние; S_2 – поле зрения ТВК ориентировано на БЛА; S_3 – поле зрения ТВК ориентировано на ложный объект; S_4 – принято решение, что наблюдаемый объект ложный при условии наблюдения ЛО; S_5 – принято решение, что наблюдаемый объект ложный при

условии наблюдения БЛА; S_6 – принято решение, что наблюдаемый объект БЛА при условии наблюдения БЛА; S_7 – принято решение, что наблюдаемый объект БЛА при условии наблюдения ложного объекта.

С учетом допущения о полумарковском процессе изменения состояний, каждый переход будет характеризоваться вероятностными и вероятностно-временными характеристиками в виде вероятностей перехода и плотностей вероятностей распределения времени нахождения в одном состоянии i при переходе в другое состояние j $P_{ij}, \varphi_{ij}(t)$.

В предположении того, что в начале рассматриваемого процесса система находится в исходном состоянии и, следуя рекомендациям, изложенным в [4], динамику процесса поиска БЛА на фоне ложных объектов можно представить в форме передаточных функций (рис. 2).

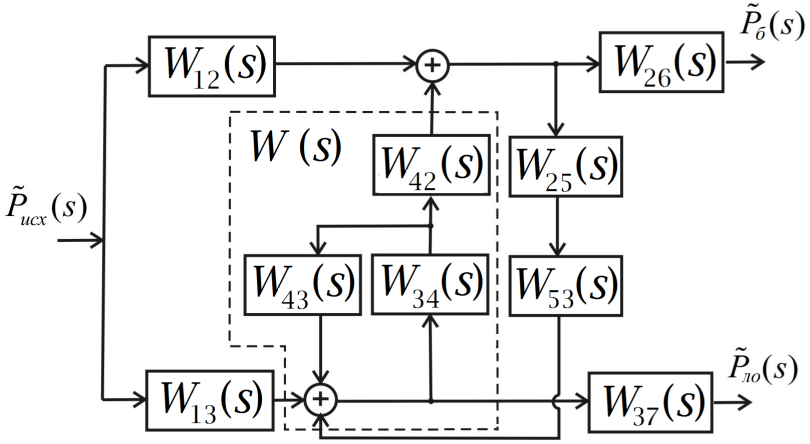


Рис. 2. Процесс поиска БЛА на фоне ЛО в форме передаточных функций

На рис. 2 $W_{ij}(s) = L_s\left[P_{ij}\varphi_{ij}(t)\right]$ – передаточная функция, представляющая собой преобразование Лапласа от произведения вероятности перехода на плотность вероятности распределения времени перехода из состояния i в состояние j; $L_s[...]$ – преобразование Лапласа.

С использованием структуры модели, приведенной на рис. 2 [3, 5], можно получить выражение для определения вероятности того, что в интервале времени $[t, t+dt]$ произойдет правильное обнаружение ТВК БЛА:

$$\tilde{P}_{б}(s) = \tilde{P}_{исх}(s)\left[W_{12}(s) + W_{13}(s)\frac{W_{34}(s)W_{42}(s)}{1-W_{34}(s)W_{43}(s)}\right]W_{26}(s), \qquad (1)$$

где $\tilde{P}_{исх}(s) = L_s\left[\tilde{P}_{исх}(t)\right]$; $\tilde{P}_{исх}(t)$ – вероятность нахождения системы в интервале времени $[t, t+dt]$ в исходном состоянии.

Введем в рассмотрение цикл $S_3 \to S_4 \to S_3$ по ориентации ТВК на $N_{ло}$ ложных объектов, состоящий из c итераций.

Тогда применение к $W(s) = \dfrac{W_{34}(s)W_{42}(s)}{1-W_{34}(s)W_{43}(s)}$ преобразования производящей функции [4] позволяет получить

$$W(z,s) = \frac{W_{34}(s)W_{42}(s)}{1-zW_{34}(s)W_{43}(s)}. \qquad (2)$$

С учетом циклов по c можно записать

$$W(c,s) = W_{34}(s)W_{42}(s)\left[W_{34}(s)W_{43}(s)\right]^{c}. \qquad (3)$$

Тогда вероятность правильного обнаружения БЛА к текущему моменту времени t на фоне $N_{ло}$ ложных объектов можно определить следующим образом

$$P_{б}(N_{ло}, t) = L_s^{-1}\left\{\frac{1}{s}\tilde{P}_{исх}(s)W_{26}(s)W_{67}(s)\times\right.$$
$$\left.\times\left[W_{12}(s) + W_{13}(s)\sum_{c=0}^{N_{ло}-1}\left(W_{34}^{c+1}(s)W_{43}^{c}(s)W_{42}(s)\right)\right]\right\}, \qquad (4)$$

где $L_s^{-1}[...]$ – обратное преобразование Лапласа.

Предположим, что плотности вероятностей распределения времени нахождения в одном состоянии при переходе в другое состояние определяются экспоненциальными распределениями. Тогда передаточные функции переходов $W_{ij}(s)$ будут определяться как

$$W_{12}(s)=P_{op12}(N_{ло})\frac{\lambda_{op}}{s+\lambda_{op}};\ W_{13}(s)=P_{op13}(N_{ло})\frac{\lambda_{op}}{s+\lambda_{op}};$$

$$W_{26}(s)=P_{ои}\frac{\lambda_{об}}{s+\lambda_{об}};\ W_{34}(s)=(1-P_{ол})\frac{\lambda_{об}}{s+\lambda_{об}};\qquad(5)$$

$$W_{43}(s)=P_{op43}(N_{ло},c)\frac{\lambda_{op}}{s+\lambda_{op}};\ W_{42}(s)=P_{op42}(N_{ло},c)\frac{\lambda_{op}}{s+\lambda_{op}},$$

где $P_{op}(N_{ло})$ и $P_{op}(N_{ло},c)$ – вероятности ориентирования ТВК на БЛА или ЛО в зависимости от числа ложных объектов с учетом их «отсеивания»;

λ_{op} – интенсивность ориентирования ТВК на истинный (ложный) объект;

$P_{ои}$ – вероятность обнаружения истинного объекта (БЛА) ТВК;

$\lambda_{об}$ – интенсивность обнаружения объектов;

$P_{ол}$ – вероятность обнаружения ТВК ложного объекта и принятия его за истинный.

Интенсивности, входящие в (5), связаны со средним временем выполнения задач обратной зависимостью $\lambda=1/\overline{T}$ [4].

Переходные вероятности ориентирования ТВК на истинный или ложный объект с учетом «отсеивания» объектов получим следующим образом

$$P_{op12}(N_{ло})=\frac{1}{N_{ло}+1};\ P_{op13}(N_{ло})=\frac{N_{ло}}{N_{ло}+1};$$

$$P_{op42}(N_{ло},c)=\frac{1}{N_{ло}-c};\ P_{op43}(N_{ло},c)=\frac{N_{ло}-c}{N_{ло}-c+1}.\qquad(6)$$

3. Разработка компьютерной модели

На рис. 3 представлена модель, реализованная в системе MATLAB (Simulink).

В виду особенностей моделирования в системе MATLAB (Simulink) учет «отсеивания» в выражениях (6) в зависимости от числа циклов c произведен следующим образом

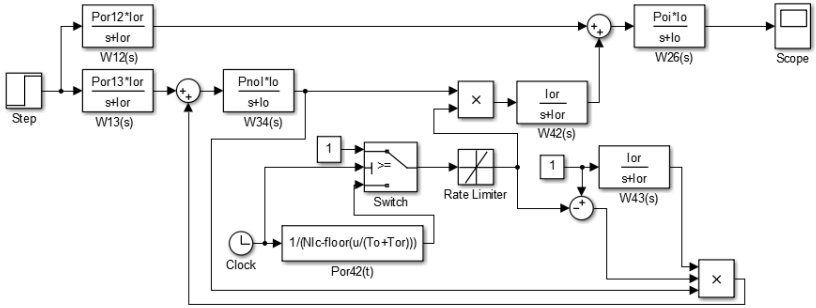


Рис. 3. Модель в системе MATLAB (Simulink)

$$P_{op42}(N_{ло},t)=\left\{N_{ло}-\left\lfloor\frac{t}{\overline{T}_{op}+\overline{T}_{об}}\right\rfloor\right\}^{-1};$$
$$P_{op43}(N_{ло},c)=1-P_{op42}(N_{ло},c), \qquad (7)$$

где $\lfloor x\rfloor$ – целая часть числа x.

Блоки Clock, Switch (Threshold=$\left(N_{ло}-1\right)\left(\overline{T}_{op}+\overline{T}_{об}\right)$) и Por42(t) формируют переходные вероятности ориентирования ТВК на истинный объект с учетом «отсеивания». При этом блок Rate Limiter обеспечивает ограничение скорости изменения получаемого сигнала.

Результаты расчетов с использованием предложенной модели представлены на рисунках 4 и 5. Вычисления производились для следующих исходных данных: $\overline{T}_{op}$=1 с; $\overline{T}_{об}$=0,0026 с; P_{ou}=0,9; $P_{ол}$=0,7; в начале процесса система находится в исходном состоянии.

Анализ полученных результатов показывает, что наличие в поле зрения ТВК ложных объектов с высокой степенью подобия объекту поиска существенно снижает вероятность его правильного обнаружения. Следует отметить, что значимое увеличение числа ложных объектов (более трех) сказывается на снижении финальной вероятности правильного обнаружения истинного объекта не столь заметно, однако затягивает процесс его поиска.

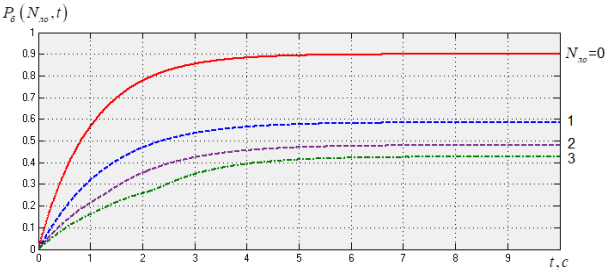


Рис. 4. Графики зависимостей вероятности правильного обнаружения БЛА от времени t на фоне различного числа ложных объектов $N_{ло}$

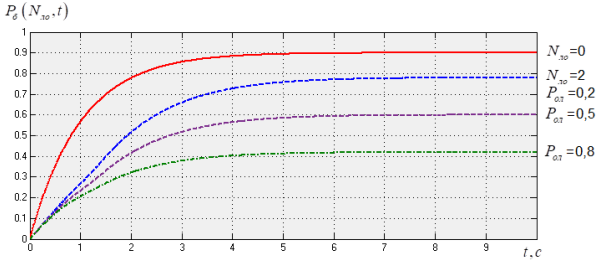


Рис. 5. Графики зависимостей вероятности правильного обнаружения БЛА от времени при различных значениях вероятности обнаружения ложного объекта

Заключение

Таким образом, с использованием методов теории вероятностей, теории графов, автоматического управления разработана модель процесса поиска оптико-электронными средствами БЛА среди ложных объектов, обеспечивающая оценку эффективности поиска в зависимости от степени подобия и количества ложных объектов. Использование математического аппарата передаточных и производящих функций позволило определить вероятностные показатели процесса поиска БЛА с учетом цикличности, связанной с рассмотрением ложных объектов, попадающих в поле зрения ТВК, и реализовать компьютерную модель в системе MATLAB (Simulink).

Список литературы

1. Красненко, Н. П. Обнаружение беспилотных летательных аппаратов: существующие решения и возможности / Н. П. Красненко [и

др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн: материалы Всерос. открытой научной конф. "Всероссийские открытые Армандовские чтения" (Муром, 2024 г.). – Муром, 2024. – С. 429-440.

2. Филин, Е. Д. Методы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра / Е. Д. Филин, Р. В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – Т. 6. – № 2. – С. 87-93.

3. Модели пространственного и частотного поиска: монография / Ю. Л. Козирацкий [и др.]; под ред. Ю. Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2013. – 344 с.

4. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения: монография / Ю. Л. Козирацкий [и др.]; под ред. Ю. Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2013. – 232 с.

5. Коновалов, Г. Ф. Радиоавтоматика: учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Г. Ф. Коновалов. – М.: Высш. шк., 1990. – 335 с.

Моделирование лицевой мимики с помощью алгебраических инвариантов

В. В. Крутских, email: krutskihvlad@mail.ru

Воронежский Государственный Университет

Аннотация. *В данной работе рассматривается новый подход к моделированию лицевой мимики с помощью групповых преобразований пространства.*

Ключевые слова: *лицевая мимика, алгебраический инвариант, алгебра Ли.*

Введение

Моделирование лицевой мимики является важной задачей в различных областях, таких как психология, искусственный интеллект и компьютерная графика. С развитием технологий оцифровки и обработки изображений, а также алгоритмов машинного обучения, вопросы анализа и синтеза лицевых выражений приобрели особую актуальность. В настоящее время существует множество подходов к моделированию мимики, однако большинство из них ограничивается использованием стандартных геометрических или статистических методов, что часто не позволяет учесть все аспекты динамики лицевых изменений.

В данной статье рассматривается использование алгебраических инвариантов для моделирования лицевой мимики, в частности, на примере плоских изображений лица. Разработка этого подхода и его анализ в контексте существующих методов моделирования мимики подчеркивает его перспективность и позволяет сделать выводы, которые могут быть полезны для дальнейших исследований и практических приложений в области цифровых технологий и психофизиологии.

1. Математическая гипотеза «внутренней» инвариантности лица

Человеческое лицо остается узнаваемым даже при изменении его выражения, мимики или под воздействием внешних факторов. Родные и близкие могут безошибочно идентифицировать человека, несмотря на все возможные трансформации его облика. Это говорит о том, что у лица существует некая внутренняя основа, не подверженная изменениям, своеобразный неизменный «каркас», сохраняющийся при любых вариациях внешнего выражения.

© Крутских В. В., 2025

Математическим понятием, описывающим подобную неизменность, является «инвариант». Этот термин обозначает характеристику, сохраняющую свое значение при определенных преобразованиях. Если речь идет о преобразованиях объекта или структуры в многомерном пространстве, инвариантом называют функциональное выражение, зависящее от переменных данного пространства, но остающееся неизменным при преобразованиях из некоторого фиксированного класса. Классическим примером инварианта является уравнение окружности при повороте плоскости вокруг начала координат. Любое уравнение окружности с центром в начале координат имеет вид:

$$x^2 + y^2 = R^2 . \qquad (1)$$

Выражение

$$\Phi = x^2 + y^2 \qquad (2)$$

остается неизменным при поворотах, а потому является инвариантом семейства таких поворотов.

Применяя этот подход к лицу человека, можно рассматривать его как объект в трехмерном пространстве с координатами x_1, x_2, x_3. Однако выражение лица зависит не только от его геометрических характеристик, но и от множества других параметров. К ним можно отнести температуру T, эмоциональное состояние N и ряд других внешних или внутренних факторов. В таком случае естественно предположить существование некоторой функции

$$\Phi(x_1, x_2, x_3, T, N, ...) = C , \qquad (3)$$

где C – константа. Эта функция должна описывать неизменную основу лица, т.е его инвариант.

2. Преобразования лица

Можно предположить, что в системе переменных, описывающих мимику лица, могут быть задействованы большие семейства (содержащие, например, десятки) параметров, но для начального этапа исследования естественно остановиться на относительно малых количествах переменных. Поэтому для лица, представляющего поверхность в трехмерном пространстве естественно обсуждать не менее четырех описывающих его изменения переменных (параметров).

Для дальнейшего обобщения данного подхода можно перейти от вещественных переменных x_1, x_2, x_3 к их комплексным аналогам z_1, z_2, z_3, полагая как обычно $z_k = x_k + iy_k$, где x_k – вещественные части

новых переменных, а y_k – мнимые. Аналогично, параметры, характеризующие дополнительные состояния лица, например температуру T и эмоциональное состояние N, можно объединить в одну комплексную переменную $z_4 = T + iN$. Этот шаг позволяет описывать изменения лица более гибко, а также рассматривать дополнительные параметры, такие как многомерная характеристика настроения или учет временной динамики.

Таким образом, в простейшей модели изменений лица пространство состояний описывается четырьмя комплексными переменными z_1, z_2, z_3, z_4, а его инвариантные свойства выражаются через вещественную функцию $\Phi(z_1, z_2, z_3, z_4)$. Отметим, что уравнение

$$\Phi(z_1, z_2, z_3, z_4) = C \tag{4}$$

задает некоторую вещественную гиперповерхность M в четырехмерном комплексном пространстве.

Для дальнейшего анализа предлагается рассмотреть класс допустимых преобразований пространства состояний, а именно семейство локально обратимых голоморфных преобразований. Они позволяют исследовать инвариантные характеристики модели, сохраняя ее математическую структуру.

3. Групповые и алгебраические структуры

Сохранение инвариантного объекта при действии некоторого семейства преобразований приводит к возникновению в этом семействе структуры группы G. В нашем случае речь идет о непрерывной группе преобразований, которую можно считать (локальной) группой Ли конечной размерности. Эта группа играет ключевую роль в описании возможных преобразований пространства состояний и инвариантных характеристик модели.

Размерность группы G в общем случае может быть произвольной и не определяется размерностью исходного пространства состояний. Однако можно рассматривать специальные случаи, в которых размерность группы естественным образом совпадает с размерностью гиперповерхности M, что обеспечивает возможность непрерывного смещения любой точки этой поверхности в любую (близкую) точку с помощью элементов группы. В таких ситуациях гиперповерхность M называется однородной относительно подгруппы G, действующей в пространстве допустимых преобразований.

Важно отметить, что физические изменения лица происходят в трехмерном евклидовом пространстве R^3, а его форма в каждый момент

времени представляет собой двумерную поверхность Γ в этом пространстве. Согласно нашей модели, вид этой поверхности определяется свойствами семимерной гиперповерхности M в пространстве C^4. Следовательно, изучение изменений формы лица сводится к анализу взаимосвязей между свойствами двух поверхностей: физической поверхности Γ в R^3 и математической гиперповерхности M в C^4.

4. Двухмерная модель

В качестве упрощенной модели, основанной на ранее рассмотренных принципах, рассмотрим простейшую плоскую модель лица и ее изменения под действием голоморфных преобразований трехмерного комплексного пространства C^3. В таком случае координаты z_1, z_2, z_3 вводятся аналогично описанному выше: вещественные части переменных z_1 и z_2 соответствуют пространственным координатам лица x_1 и x_2, а третья переменная определяется как $z_3 = T + iN$, объединяя температурный и эмоциональный параметры.

Стоит отметить, что в этом случае структура допустимых преобразований оказывается более компактной и изученной. В частности, количество различных 5-мерных алгебр Ли (которые могут описывать симметрии системы) ограничено 67 типами или семействами, а их 5-мерные орбиты в C^3, то есть инварианты действий в этом пространстве, подробно классифицированы (см. [1]).

Для дальнейшего упрощения анализа можно рассмотреть только две первые компоненты преобразований трех комплексных переменных, оставляя лишь их вещественные части. Это приводит к локальному преобразованию плоского изображения лица, которое можно интерпретировать как математическую модель изменения фотографии под влиянием различных факторов. Такой подход позволяет уже на практике оценивать эффект преобразований и их влияние на распознаваемость лица.

Рассмотрим модель лица, представленную на двухмерном изображении, которое задается следующими формулами.

$$\begin{aligned} &(x_1 - 2)^2 + (x_2 - 1)^2 = 1, \\ &(x_1 - 2) - x_2 + \frac{1}{3},\ \frac{3}{2} \le x_1 \le \frac{5}{2}, \end{aligned} \tag{5}$$

$$(x_1 - 1,5)^2 + (x_2 - 1,25)^2 = 0,025,$$

$$(x_1 - 2,5)^2 + (x_2 - 1,25)^2 = 0,025.$$

Эти уравнения описывают модель лица, представленную на рис. 1

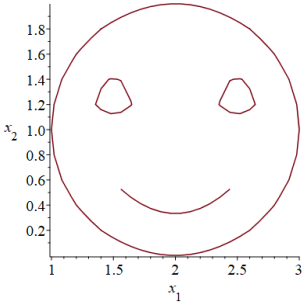


Рис. 1. *Рис. 2.* Модель лица

Теперь рассмотрим действие алгебры g_5, векторное представление которой приведено в [2],

$$\begin{aligned} e_1 &= (1,0,0), \\ e_2 &= (2z_1, -z_2, z_3), \\ e_3 &= (-z_1^2, z_1 z_2 - z_3, -z_1 z_3), \\ e_4 &= (0,1,z_1), \\ e_5 &= (0,0,1) \end{aligned} \tag{6}$$

В частности, нас интересует действие поля e_3 из этой алгебры. Для этого решается система дифференциальных уравнений, отвечающих полю e_3 и представленных ниже

$$\begin{cases} \dfrac{dz_1}{dt} = -z_1^2 \\ \dfrac{dz_2}{dt} = z_1 z_2 - z_3 \\ \dfrac{dz_3}{dt} = -z_1 z_3 \end{cases} \tag{7}$$

что дает нам новые уравнения

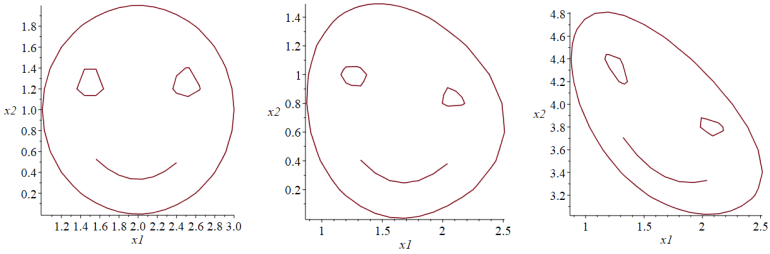
$$z_1(t)=\frac{z_1}{1-tz_1},\ z_2(t)=z_2+t(-z_3+z_1z_2),\ z_3(t)=\frac{z_3}{1-tz_1}, \qquad (8)$$

отражающие преобразования изображения.

Взяв только действительную часть первых двух уравнений, описывающих преобразования плоского изображения, получим

$$x_1^*=\frac{x_1}{1+tx_1},\ x_2^*=x_2-tx_3+tx_1x_2. \qquad (9)$$

Заметим, что после применения этих преобразований появились не связанные с пространственными координатами параметры t и x_3. На рис. 2 показаны результаты преобразования модели лица с различными значениями этих параметров.



а б в

а – изображение при $t=0$ *и* $x_3=0$, *б – изображение при* $t=0,213$ *и* $x_3=0$, *в – изображение при* $t=0,213$ *и* $x_3=19,8$

Рис. 3. Результат преобразования лицевой модели полем e_3

Эти результаты позволяют наглядно увидеть, как изменения параметров влияют на внешний вид лица, например, могут быть представлены изменения выражений, настроений или других факторов, влияющих на восприятие.

Заключение

В заключение, предложенный подход к моделированию лицевой мимики с использованием алгебраических инвариантов представляется перспективным направлением для дальнейших исследований. Основные выводы, сделанные на основе рассмотренных изменений плоской модели лица, подтверждают высокую потенциальную эффективность такого подхода в анализе и прогнозировании изменений выражений лица. Это открывает новые возможности для более глубокой и точной

интерпретации мимики в различных контекстах, таких как распознавание эмоций, искусственный интеллект и компьютерная графика.

В настоящее время автором начато изучение схем и алгоритмов описания изменений трехмерных оцифрованных моделей лиц на основе техники алгебраических инвариантов.

Список литературы

1. Лобода, А. В. Голоморфно однородные вещественные гиперповерхности в C3 / А. В. Лобода // Труды ММО. – 2020. – 81(2). – С. 205-280.

2. Лобода, А. В. Об орбитах одной неразрешимой 5-мерной алгебры Ли / А. В. Лобода, А. В. Атанов // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2019. – 22(2). – С. 5-20.

3. Мубаракзянов, Г. М. Классификация вещественных структур алгебр Ли пятого порядка / Г. М. Мубаракзянов // Изв. вузов. Матем. – 1963. – №3. – С. 99-106.

4. LARNet: Lie Algebra Residual Network for Face Recognition. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2103.08147

5. Крутских, В. В. Алгебры Ли: алгоритмы программной обработки информации / В. В. Крутских // Матер. XXIV междунар. научно-технической конф. ИПМТ. – Воронеж. – 2024. – С. 356-370.

Технологии метеорологического обеспечения авиационной организационно-технической системы с использованием элементов искусственного интеллекта

И. Е. Кузнецов, Е.В. Шувакин e-mail: argentina_85@mail.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *Рассматриваются методические подходы к получению специализированной метеорологической информации основанные на применении технологий искусственного интеллекта. Предложены направления использования информационно-интеллектуальных технологий в поддержке принятия решения органом управления на применение авиации в районах с неблагоприятными климатическими условиями. Реализация данных технологий в метеорологическом обеспечении будет способствовать повышению его качества путем снижения неопределенности, уменьшению избыточной, обобщению необходимой информации об обстановки в метеорологическом отношении.*

Ключевые слова: *Искусственный интеллект, система поддержки принятия решения, гидрометеорологическое обеспечение, авиация.*

Введение

Тенденции изменения форм и способов применения авиации в современных войнах и военных конфликтах показали высокую значимость метеорологического обеспечения (МО). Данный вид обеспечения выполняется с целью максимального использования благоприятных для своей авиации и неблагоприятных для авиации противоборствующей стороны физико-географических (климатических, метеорологических) условий и пространственно-временных факторов окружающей среды.

Эффективность МО напрямую будет зависеть от качества климатической информации, используемой метеорологической службой авиационного воинского формирования (АВФ) при подготовке предложений в решение на применение авиации. Данная информация подготавливается заблаговременно на основе трудоемкого процесса обработки и анализа сведений о погоде, систематизируется в форме авиационно-климатических описаний и других справочных материалов

© Кузнецов И. Е., Шувакин Е. В., 2025

и обновляется по истечению нескольких лет. Однако, в районах с редкой сетью гидрометеорологических станций и постов и значительной тенденцией климатических изменений процесс получение и уточнение подобного рода информации является затруднительным, а имеющаяся устаревшая специализированная информация предположительной и ориентировочной.

Данное подтверждается тем, что наблюдаемые климатические изменения проявляются в виде глобального повышения температуры воздуха, трансформации циркуляционных атмосферных процессов и нарушения многолетних устойчивых закономерностей распределения метеорологических элементов. Все это приводит к росту аномальности климата, возрастанию количества опасных для авиации явлений погоды и периодов с неблагоприятными метеорологическими условиями.

Разработка моделей

Указанные процессы наиболее ярко проявляются в высокоширотных климатических районах, носят нелинейный характер и значимо отличающиеся региональные тенденции изменений (рис. 1) [1].

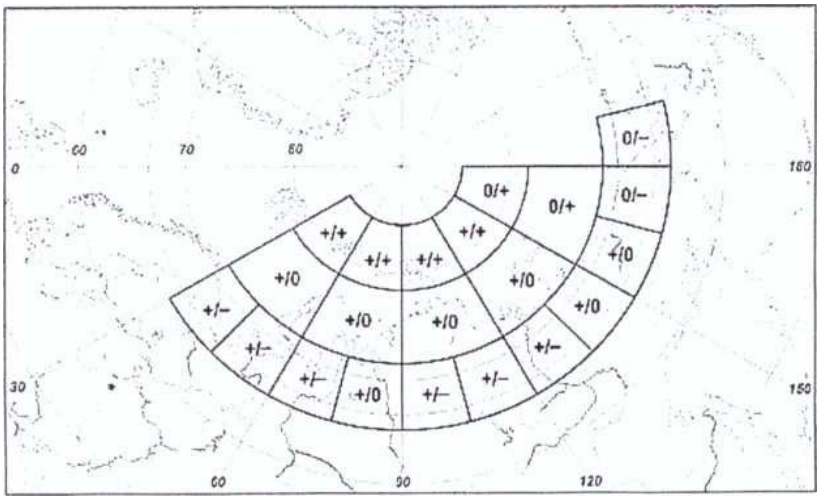


Рис. 1. Характер тенденций средних / среднеквадратических отклонений средней суточной температуры в январе на карте Арктической зоны Российской Федерации

В этой связи, возникает неопределенность (неполнота, противоречивость и неточность) фактической, прогностической и климатической информации за счет:

– увеличения отклонений фактических значений метеорологических величин, от значений (численных переменных), рассчитанных существующими способами;

– возрастания ошибок в прогнозировании условий погоды (лингвистических переменных) существующими гидродинамическими и физико-статистическими методами.

Значительная неопределённость численной и лингвистической информации, используемой в процессе МО авиации в данных районах, повлечет за собой снижение качества и обоснованности принимаемого органом управления решения.

В целях повышения качества МО авиации в рассматриваемых районах путем снижения путем снижения неопределенности информации, сокращения потребного времени на подготовку выводов из оценки обстановки и разработку предложений по учету факторов внешней среды, предлагается использовать передовые вспомогательные информационные технологии, позволяющие оказывать полноценную помощь органу управления в творческой и мыслительной деятельности при выработке решения на применение авиации.

Основным направлением реализации данного предложения является разработка систем поддержки принятия решений (СППР) реализуемых на технологиях искусственного интеллекта (ТИИ) [2–4]. Использование подобных систем обеспечит повышение эффективности действий авиации за счет повышения оперативности управления видом обеспечения. При этом, реализации ТИИ в МО будет способствовать:

– росту степени автоматизации (интеллектуализации) процесса подготовки предложений в решение органа управления;

– сокращению времени обработки информации;

– снижению неопределенности, уменьшению избыточной, обобщению необходимой информации;

– минимизации действия человеческого фактора при оценке обстановки.

Принципиальной особенностью СППР функционирующую на ТИИ является то, что она выступает не в роли «ассистента», выполняющего часть работы за начальника метеорологической службы, а в роли – эксперта-консультанта. СППР аккумулирует в себе и дублирует опыт и знания высококвалифицированных специалистов-экспертов, и позволяют использовать это должностными лицами метеорологической службы в процессе выполнения ими своих должностных обязанностей.

Другими словами, назначение данных систем не замена специалиста в его непосредственной деятельности, а, совещательный статус [5], при котором последнее слово в формировании выводов из оценки обстановки будет у начальника метеорологической службы. Кроме того, применение ТИИ расширит сферу его возможностей за счет использования накопленных знаний, опыта, и правил в решении типовых задач.

Представим подобную СППР на ТИИ в процессе метеорологического обеспечения авиации в виде схемы (рис. 2).

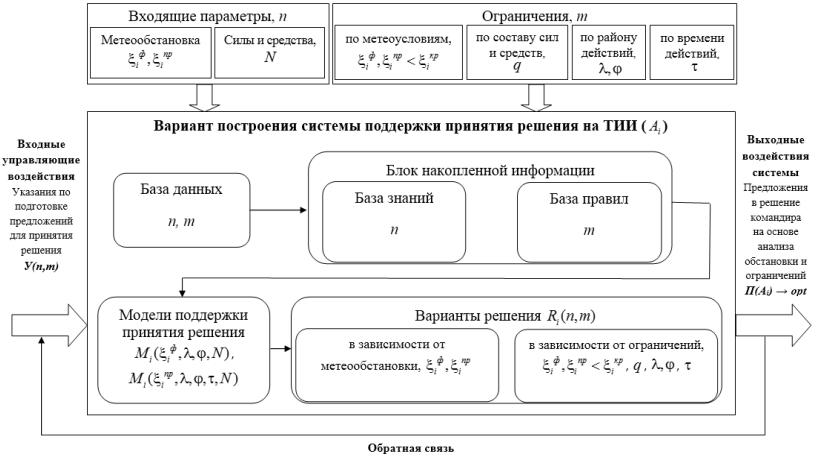


Рис. 2. Схема работы СППР на ТИИ в процессе метеорологического обеспечения авиации

Анализ процесса преобразования информации в СППР на ТИИ показывает, что выходным результатом работы системы являются предложения в решение органа управления на выполнение задач авиации в текущей метеорологической обстановке. На основании подготовленных метеорологической службой предложений у органа управления должен сформироваться:

– визуальный образ реальной метеорологической обстановки с ранжированной степенью влияния условий погоды на действия своей авиации и авиации противника в районе выполнения задачи;

– ограничения на действия авиации в пространстве и во времени с учетом прогноза развития метеорологических условий;

– способ боевых действий авиации с учетом метеорологических условий.

Основными методами, которые сегодня используются в теории искусственного интеллекта, являются: нейронные сети, формальная семантика, мультиагентное моделирование, нечеткая логика, возможностно-вероятная оптимизация и др. [6].

Например, нейронные сети в гидрометеорологии нашли свое применение для решения актуальных задач, связанных с классификацией облачности по спутниковым снимкам [7, 8]. Разработанные на основе машинного обучения алгоритмы анализа спутниковой информации показали более высокую точность классификации облачных систем по сравнении с другими методами. Все это позволяет метеоспециалисту повысить скорость обработки информации и снизить количество ошибок в процессе анализа погоды, вызванных человеческим фактором.

Формальная семантика применяется в интерпретации лингвистических и численных значений метеорологических величин и явлений погоды при осуществлении обмена данными о погоде в реальном или близком к реальному режиму времени в целях сокращения объема данных и исключения неоднозначности их трактования при получении [9]. Данный метод реализовывается в алгоритмах обработки информации программно-аппаратных комплексов специального назначения.

Мультиагентное моделирование – это метод моделирования метеозависимых систем с целью прогнозирования условий погоды на основе самоорганизующихся элементов сбора, обработки и распространения информации [10]. По средствам данного метода разрабатываются программные алгоритмы поддержки принятия решений на основе причинно-следственных связей между количественными и качественными значениями метеорологических величин и явлений с вероятностными значениями достижения заданного результата в данных условиях погоды.

Подробнее рассмотрим технологию получения специализированной погодно-климатической информации, основанную на применении метода нечеткой логики – элемента искусственного интеллекта для поддержки принятия решения на применение авиации в районе с неблагоприятными климатическими условиями.

Данный метод используется при моделировании сложных самоорганизующихся систем, насыщенных динамическими объектами управления, которые не поддаются точному и полному описанию. Нетривиальный математический аппарат, основанный на теории нечеткой логики, позволяет формализовать знания в виде высказываний, называемых продукциями, типа «ЕСЛИ (условие), ТО (действие)». Под

«условием» понимается предложение-образец, по которому осуществляется поиск в базе знаний, а под «действием» – операции, выполняемые при успешном исходе поиска [11].

Продукционные модели нашли широкое применение в экспертных системах поддержки принятия решений, где вывод на такой базе знаний бывает прямой (от данных к поиску цели) или обратный (от цели для ее подтверждения – к данным). Потенциальные возможности системы привлекают разработчиков наглядностью представления данных обстановки, относительной простотой модификации базы знаний, для решения конкретной управленческой задачи, объективностью логического вывода из множества альтернативных решений.

Возможностно-вероятная оптимизация – это научное направление, изучающее модели и методы оптимизации в условиях неопределенности с элементами случайности и неполноты информации. Служит для разработки методов принятия решения, позволяющих стоить функции влияния внешних факторов на множество альтернативных решений органов управления [12].

Возможными вариантами применения данных методов в метеорологическом обеспечении авиации могут являться технологии подготовки предложений в решение органа управления.

Приведем пример. Пусть для подготовки предложений в метеорологическом отношении на применение авиации для анализа спутниковой метеорологической информации используется метод искусственного интеллекта – «Нейронные сети». Применение данного метода позволит инженеру метеорологической группы значительно сократить время на обработку информации и минимизировать действия «человеческого фактора» при определении степени сложности условий погоды. Визуальный образ метеорологической информации представлен на рис. 3.

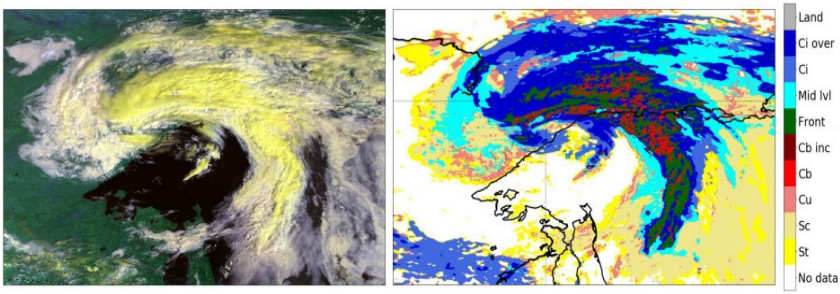


Рис. 3. Визуальный образ метеорологической обстановки

Определение конкретного времени на ограничение на действие авиации остается за инженером метеорологической группы, а способ действия авиации определит орган управления (лицо, принимающее решение), например, «Последовательные действия авиации частью располагаемых сил».

Заключение

Из изложенного следует, что основными направлениями применения технологий искусственного интеллекта в метеорологическом обеспечении авиации могут являться:

– сбор, накопление и анализ данных о состоянии атмосферы и преобразование ее в знания, готовые к непосредственному применению уже в условиях неопределенности метеорологической информации;

– комплексная оценка района применения авиации с представлением возможных вариантов действий авиации противника и рациональных вариантов действий своей авиации (альтернатив выбора) в прогнозируемых метеорологических условиях;

– ускорение процесса распознавания и обработки спутниковой и радиолокационной информации;

– автоматизация процесса подготовки выводов из оценки обстановки в метеорологическом отношении с целью сокращения потребного для этого времени.

Таким образом, реализация перспективных ТИИ в метеорологическом обеспечении авиации будет способствовать повышению оперативности управления за счет сокращения времени на подготовку выводов о влиянии метеорологических условий. Вместе с тем, предложенный научно-методический аппарат СППР, функционирующий на ТИИ, позволит оказывать содействие начальнику метеорологической службы путем снижения неопределенности информации и минимизации ошибок, вызванных человеческим фактором.

Список литературы

1. Шипко, Ю. В. Модель температурных рядов в Арктическом регионе на основе гармонического анализа / Ю. В. Шипко, Е. В. Шувакин // Нелинейный мир. – Москва, 2015. – № 7. – С. 38-41.

2. Модели и методы гидрометеорологического обеспечения организационно-технических систем в Арктической зоне Российской Федерации / И. Е. Кузнецов [и др.]; отв. ред. И. Е. Кузнецов. – Воронеж : Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2019. – 244 с.

3. Матвеев, М. Г. Управление организационно-технической системой в условиях метеорологической неопределенности : монография / М. Г. Матвеев, В. В. Михайлов. – Воронеж: ВВАИУ, 2006. – 128 с.

4. Лозицкий, Р. М. Концептуальный подход к применению технологий искусственного интеллекта в деятельности органов военного управления / Р. Лозицкий // Военная мысль. – 2024. – № 5. – С. 92-101.

5. Дронов, С. В., Особенности тактики авиации в современных боевых действиях и пути ее совершенствования / С. В. Дронов, Г. А. Васильев, А. Н. Кирюшин // Военная мысль. – 2024. – № 1. – С. 17-21.

6. Буренок, В. М., Разумное вооружение: будущее искусственного интеллекта в военном деле / В. М. Буренок, Р. А. Дурнев, К. Ю. Крюков // Военно-техническая политика. – 2018. – № 1 (43). – С. 11-17.

7. Использование нейронных сетей в задачах гидрометеорологии / Л. С. Крамарева [и др.] // Вычислительные технологии. – 2019. – № 6. С. 50-59.

8. Системы метеорологического, экологического и аэрокосмического мониторинга: монография / В. В. Михайлов [и др.]; отв. ред. В. В. Михайлов. – Москва : Издательство «Радиотехника», 2015. – 184 с.

9. Готюр, И. А. Описания и раскодирования метеорологических данных на основе алгебраического подхода / И. А. Готюр, А. В. Костроминов // Известия ВУЗов. Приборостроение. – Москва, 2014. – № 1. С. 11-14.

10. Мультиагентный алгоритм сбора данных с метеостанции для прогнозирования урожайности и состояния посевов / И. А. Пшенокова И.А., [и др.] // Известия Южного Федерального университета. Технические науки. – 2022. – № 1 (225). – С. 91-101.

11. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика: монография / Н. Г. Ярушкина [и др.]; отв. ред. Н. Г. Ярушкина. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 208 с.

12. Виноградов, Г. П., Задачи возможностной оптимизации в мотивированных системах / Г.П. Виноградов, В. Н., Богатиков, В. Н. Кузнецов // Вестник АГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 4. – С. 131-140.

Программа для коррекции режима дозирования препаратов при хронической болезни почек у пациентов с сахарным диабетом

С. Д. Кургалин, С. В. Борзунов, Н. Ю. Гончарова,
Г. А. Батищева, Д. М. Елисеева, Д. К. Котлярова,
О. В. Черенкова, Т. А. Улезько, Р. С. Шевцов
e-mail: borzunov@cs.vsu.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»

Аннотация. *Разработана компьютерная программа, обеспечивающая возможность эффективного и безопасного применения сахароснижающих препаратов для пациентов. Программа может использоваться для фармакотерапии пациентов, страдающих сахарным диабетом, и на этапе стационарного лечения, и в амбулаторно-поликлинических условиях.*

Ключевые слова: *информационная система, база данных, пользовательский интерфейс.*

Введение

При хронической болезни почек снижается выведение лекарственных препаратов из организма, что может приводить к увеличению их концентрации. Это особенно актуально для пациентов с сахарным диабетом, у которых почки, наряду с другими органами (сердце, глаза, головной мозг), являются органом-мишенью при формировании патологического процесса, связанного с нарушением углеводного обмена [1]. В клинической практике перечень сахароснижающих препаратов неуклонно пополняется, включая лекарственные средства с различным механизмом действия (бигуаниды, препараты сульфонилмочевины, ингибиторы дипептидилпептидазы-4, агонисты глюкогоноподобного пептида, ингибиторы натрий-глюкозного ко-транспортера 2-го типа, тиазолидиндионы и др.). Перечисленные препараты могут быть назначены на начальных стадиях заболевания либо в монотерапии, либо в составе комбинированной терапии для достижения целевых показателей гликированного гемоглобина [1]. Для пациентов, страдающих сахарным диабетом, важным является правильный режим дозирования гипогликемических средств, который

© Кургалин С. Д., Борзунов С. В., Гончарова Н. Ю., Батищева Г. А., Елисеева Д. М., Котлярова Д. К., Черенкова О. В., Улезько Т. А., Шевцов Р. С., 2025

нередко зависит от состояния функции почек. Нарушение выведения препарата ведет к повышению его концентрации в организме, что увеличивает риск гипогликемических состояний. При этом страдает метаболизм клеток головного мозга, развивается коматозное состояние с возможным летальным исходом [2]. Важно избегать потенциально опасных состояний, связанных с колебанием уровня глюкозы, у пожилых пациентов. Особенностью людей старшего возраста является коморбидность, то есть сочетание у них нескольких заболеваний, поэтому нередко они могут получать более пяти медицинских препаратов одновременно. С возрастом у них возрастает инсулинрезистентность тканей, а функция почек ухудшается [3]. Учитывая вышесказанное, для клинической практики крайне необходимы программные продукты, с помощью которых можно было бы рассчитывать режим дозирования лечебных препаратов у пациентов с сахарным диабетом с учетом функции почек. Отметим, что создание программных средств для обеспечения работы врача – клинического фармаколога ведется на кафедре цифровых технологий факультета компьютерных наук Воронежского государственного университета уже в течение нескольких лет [4-8], накоплен опыт их разработки.

Целью настоящей работы является создание компьютерной программы для определения режима дозирования сахароснижающих препаратов с учетом выделительной функции почек у пациентов, страдающих сахарным диабетом.

Описание и использование программы

Программа предназначена для коррекции режима дозирования лекарственных препаратов у пациентов с болезнью почек и может быть использована для фармакотерапии пациентов с сахарным диабетом. Ключевыми параметрами являются данные о пациенте, при этом учитывается пол, возраст, рост и вес пациента, величина креатинина крови, определяемая при биохимическом исследовании. Программа позволяет на основании введенных данных рассчитать индивидуальную скорость клубочковой фильтрации (СКФ) по формуле CKD-EPI и клиренса креатинина (КК) по формуле Кокрофта-Голта, которые используются в клинической практике [2, 3]. Программа использует показатели функции почек пациента: скорость клубочковой фильтрации и клиренс креатинина, а также список лекарственных препаратов, которые запланированы ему для лечения. Программа проверяет, имеются ли для этих препаратов инструкции по применению или клинические рекомендации конкретно для определенных значений показателей функции почек больного. При их наличии программа выдаст врачу необходимые рекомендации, в противном случае он

получит информацию об их отсутствии. Если будет необходимо, то этот процесс может быть повторен.

Программа написана на языке C# и может использоваться для ОС Windows 7/8/10/11.

В программе имеется информационный модуль, содержащий сведения о режиме дозирования пероральных гипогликемических препаратов в зависимости от величины скорости клубочковой фильтрации и клиренса креатинина.

Интерфейс внесения сведений о препарате представлен на рис. 1. В открывающуюся на рабочем столе форму вносятся сведения о пациенте и назначенном ему лекарственном препарате. Вся указанная информация исключает персональные данные пациента.

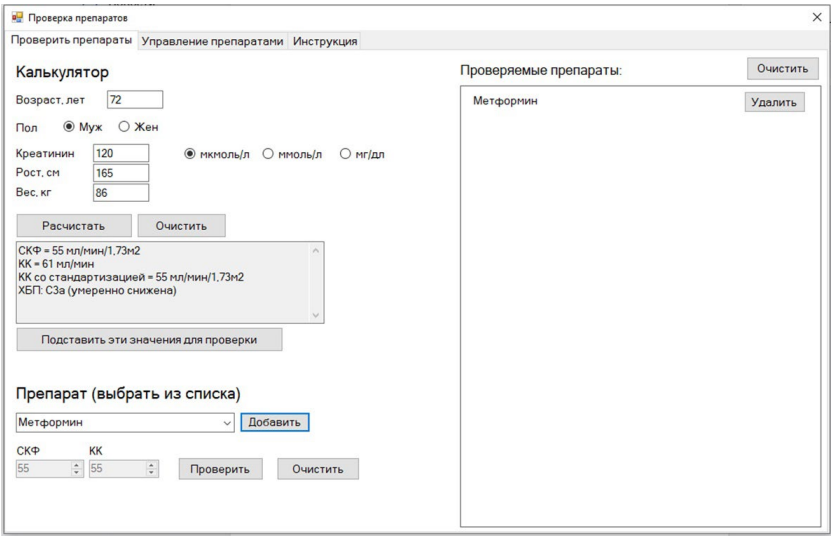


Рис. 1. Главная страница – проверка препаратов

Полученные результаты расчетных величин помогают врачу оценивать состояние функции почек и принимать решение о необходимости коррекции разовой дозы лекарственного препарата.

Информационный модуль обеспечивает структурирование важной информации, включая сведения о препаратах, назначаемых пациентам с сахарным диабетом второго типа для перорального приема, лекарственной форме, режиме дозирования, который может меняться в зависимости от величины СКФ и КК.

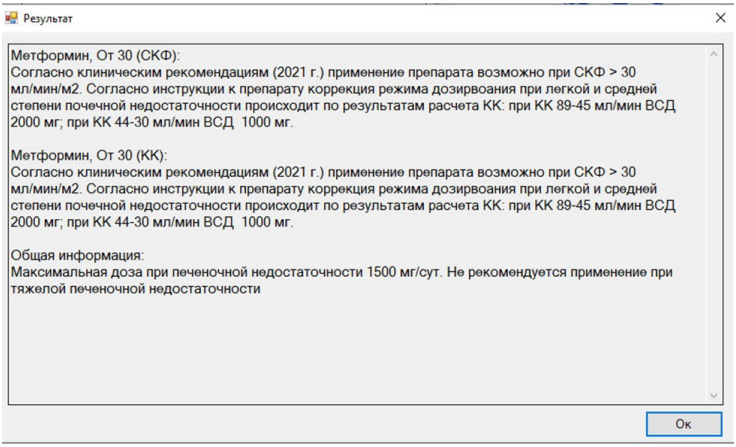


Рис. 2. Проверка дозировки препаратов

Все сведения о препаратах, представленных в базе данных к программе (рис. 3), могут пополняться и корректироваться с учетом актуализации информации в клинической практике (рис. 4).

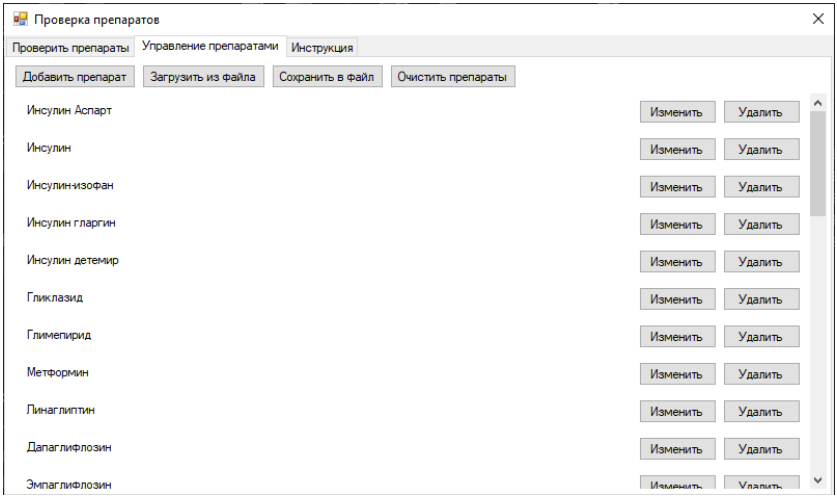


Рис. 3. Список препаратов

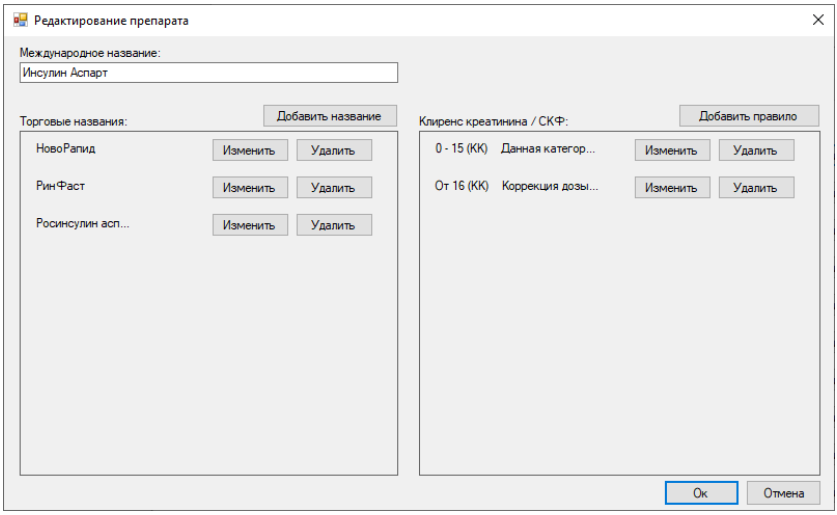


Рис. 4. Редактирование препарата

Программа позволяет осуществлять коррекцию режима дозирования лекарственных препаратов с учетом стадии хронической болезни почек и величины показателей СКФ и КК. Информационный модуль может дополняться актуальной информацией о лекарственных препаратах других фармакологических групп.

Заключение

В данной работе создана компьютерная программа, обеспечивающая возможность эффективного и безопасного применения сахароснижающих препаратов для пациентов. Внедрение программы в практическую деятельность позволяет решать следующие задачи: ускорить расчет показателей, контролирующих состояние выделительной функции почек пациента (скорость клубочковой фильтрации и клиренс креатинина), что существенно снижает затраты времени медицинского персонала при решении вопроса об индивидуальном режиме дозирования препаратов; сформировать информационный модуль для правильного назначения препаратов в зависимости от особенности функции почек; удобный интерфейс программы обеспечивает эффективный ввод данных и быстрое проведение коррекции режима дозирования сахароснижающих препаратов. Программа может использоваться для фармакотерапии пациентов, страдающих сахарным диабетом, и на этапе стационарного лечения, и в амбулаторно-поликлинических условиях.

Список литературы

1. Петрова, В.И. Клиническая фармакология: национальное руководство / В.И. Петрова, Д.А. Сычева, А.Л. Хохлова. – 2-изд., перераб и доп. – Москва, ГЭОТАР-Медиа, 2024. – 816 с.

2. Неотложные состояния в эндокринологии / Е. В. Радаева [и др.]. – Чита: ЧГМА, 2018. – 50 с.

3. Фармакотерапия лиц пожилого возраста: учебное пособие / Г.А. Батищева [и др.]– Воронеж: «Истоки», 2022. – 87 с.

4. Программа для формирования базы данных, используемой в работе врача – клинического фармаколога / Гончаров М. С. [и др.]// Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2021) : материалы двенадцатой международной научно-технической конференции. – Вологда, 2021. – С. 19-23.

5. Разработка программы для корректировки доз лекарственных препаратов / Улезько Т. А., [и др.] // Труды молодых ученых факультета компьютерных наук ВГУ. – Воронеж, 2023. – Вып. 3. – С. 246-253.

6. Лекарственное обеспечение медицинской организации : свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022613320 РФ / Батищева Г. А. [и др.] – опубл. 14.03.2022.

7. Справочник препаратов для фармакоэкономического анализа : свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022614048 РФ / Г. А. Батищева [и др.] – опубл. 16.03.2022.

8. Автоматизированная оценка индивидуальной стоимости фармакотерапии как инструмент контроля лекарственного обеспечения в медицинской организации / Н. Н. Перова, [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – Москва, 2021. – Т. 20, № S1. – С. 68.

Программа для регистрации нежелательных лекарственных реакций в медицинских организациях

С. Д. Кургалин, С. В. Борзунов, К. О. Петрищев, А. А. Асеева,
Т. А. Чуракова, Н. Ю. Гончарова, Г. А. Батищева, Н. Н. Перова,
e-mail: borzunov@cs.vsu.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»

Аннотация. *Создана компьютерная программа, обеспечивающая работу системы фармаконадзора по безопасному использованию лекарственных препаратов в медицинской организации. Программа обеспечивает возможность сбора сведений о нежелательных лекарственных реакциях, поступающих из нескольких медицинских организаций в региональный центр по контролю качества лекарственных препаратов для последующего всестороннего анализа полученной информации.*

Ключевые слова: *информационная система, пользовательский интерфейс, генерация документов по шаблону, управление элементами формы.*

Введение

Фармакотерапия современными препаратами обеспечивает эффективное лечение многих заболеваний, повышение продолжительности жизни, сохранение репродуктивного потенциала и качества жизни населения. Однако лекарственные препараты, наряду с положительными результатами их применения, могут вызывать нежелательные лекарственные реакции (НЛР), что, безусловно, требует своевременного их выявления и регистрации [1]. Именно эту важную задачу и решает в медицинских организациях система фармаконадзора. При этом медицинские работники обязаны при возникновении НЛР заполнять установленную форму извещения и направлять ее в органы Росздравнадзора [2]. Осложнения фармакотерапии могут быть как известными и заранее указанными в инструкции к медицинскому препарату, так и впервые выявленными в условиях клинического применения препарата [3]. Регистрации подлежать также случаи отсутствия клинического эффекта лекарственного препарата, применяемого при заболевании пациента, как это было, например, в

© Кургалин С. Д., Борзунов С. В., Петрищев К. О., Асеева А. А., Чуракова Т. А., Гончарова Н. Ю., Батищева Г. А., Перова Н. Н., 2025

период пандемии коронавирусной инфекции, когда вакцинированные пациенты повторно обращались за медицинской помощью с новым заболеванием COVID-19.

Систематизация сведений о НЛР дает важную информацию, необходимую для клинической практики, поэтому для работы системы фармаконадзора на локальном уровне необходимы программные продукты, позволяющие ускорить обработку данных и сформировать собственную базу зарегистрированных в медицинской организации НЛР [4]. Целью настоящей работы является создание компьютерной программы для регистрации и обработки данных о случаях нежелательной реакции или отсутствии терапевтического эффекта при использовании различных лекарственных препаратов.

1. Назначение и использование программы

Разрабатываемая программа должна обеспечить регистрацию нежелательных лекарственных реакций (НЛР), которые могут возникать при назначении фармакотерапии. Ее применение даст возможность снизить временные затраты медицинского персонала при выполнении ряда рутинных работ. С помощью программы можно заполнять извещения о НЛР для отправки в региональный центр безопасности лекарственных средств, программа также позволяет вести журнал зарегистрированных НЛР. Более детально: программа обеспечивает структурирование важной медицинской информации, включая сведения о пациенте, назначенных ему лекарственных препаратах, их лекарственной форме, о режиме дозирования, клинических проявлениях НЛР, предпринятых мерах по купированию нежелательной реакции и др. Сведения о пациенте включаются отчет, который представляет собой форму-извещение для контролирующих органов Росздравнадзора.

Важным достоинством программы является то, что одновременно с подготовкой формы-извещения происходит формирование базы данных (электронного журнала) в формате Excel для зарегистрированных в медицинской организации НЛР. При этом данные, загруженные в базу, можно, при необходимости, анализировать за определенный промежуток времени, а также осуществлять анализ в условиях оказания медицинской помощи в различных подразделениях лечебного учреждения.

Интерфейс ввода данных о нежелательной лекарственной реакции представлен на рис. 1. В форму, находящуюся на рабочем столе компьютера, вносятся сведения о возникшей НЛР. При этом информация не может включать в себя персональные данные пациента. После внесения сведений выбирается форма, в которой будет сохраняться информация в журнале.

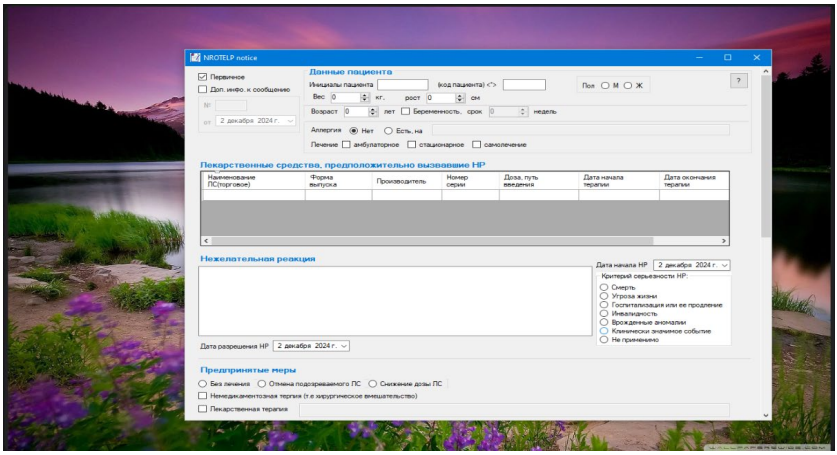


Рис. 1. Интерфейс для ввода данных о выявленной нежелательной лекарственной реакции

Возможно также сохранение информации и в ранее отредактированном журнале, что обеспечивает в дальнейшем работу с базой данных о всех выявленных и зарегистрированных НЛР.

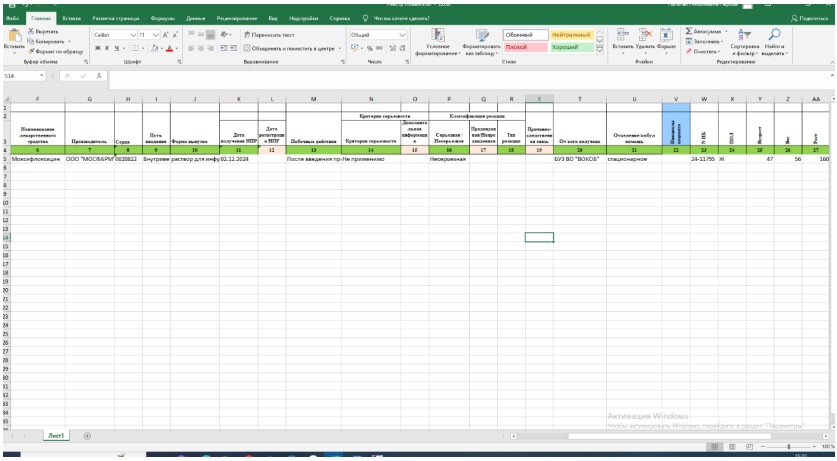


Рис. 2. Представление выявленных НЛР в виде таблицы

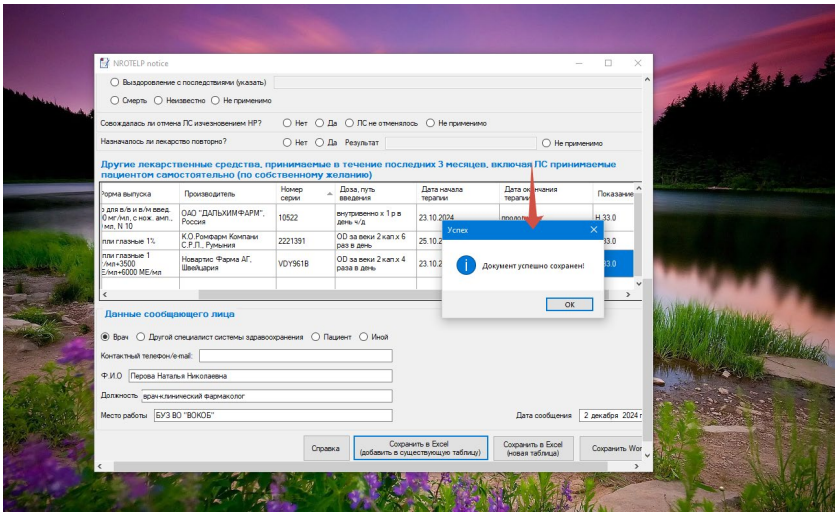


Рис. 3. Интерфейс получения информации по запрашиваемым параметрам

2. Основные характеристики разработанной программы

Программа представляет собой приложение Windows Forms для сбора, обработки и хранения данных, связанных с медицинскими отчетами о неблагоприятных реакциях. Пользователь программы должен заполнить форму с данными о пациенте, лекарственных средствах, типе и характеристиках реакции, предпринятых мерах и исходах, а также об отсутствии ожидаемого эффекта, после чего информация может быть сохранена в файлы Word или Excel. Используются:

– ОС Windows 8/10/11.
– Язык программирования C#.
– Платформа .NET Framework (Windows Forms).
– GUI-библиотека System.Windows.Forms.
– Работа с Word: Microsoft.Office.Interop.Word.
– Работа с Excel: OfficeOpenXml (EPPlus).
– Форматирование текста и обработка событий: System.Drawing, System.Text.RegularExpressions.
– Работа с файлами: System.IO.
– Многопоточность: System.Threading.Tasks.

С помощью программы производится:

– Заполнение данных о пациенте (ФИО, вес, рост, возраст, наличие аллергий, беременность и т. д.).
– Заполнение информации о лекарственных препаратах, связанных с НР.
– Автоматическая генерация Word-документов по шаблону (pattern_NPR.docx).
– Запись данных в Excel (pattern_NPR1.xlsx).
– Динамическое управление элементами формы (включение/выключение полей на основе выбора пользователя).
– Проверка на блокировку файлов перед их редактированием.
– Использование ToolTip для пояснения используемых полей.

Заключение

Создана компьютерная программа, обеспечивающая работу системы фармаконадзора по безопасному использованию лекарственных препаратов в медицинской организации. Внедрение программы в эксплуатацию позволяет решать следующие задачи: существенно ускорить оформление карты-извещения при возникновении НЛР, что заметно снижает временные затраты медицинского персонала, отвечающего за фармаконадзор в организации; сформировать специальную базу данных, позволяющую выполнять запросы о клинических проявлениях НЛР, сведениях о препаратах и их производителях, о мероприятиях, которые проводит медицинский персонал в случаях возникновения жизнеугрожающих НЛР. Разработан удобный программный интерфейс для повышения эффективности ввода необходимых данных. Программа обеспечивает возможность сбора сведений о НЛР, поступающих из нескольких медицинских организаций в региональный центр по контролю качества лекарственных препаратов для последующего всестороннего анализа полученной информации.

Список литературы

1. Петрова, В.И. Клиническая фармакология: национальное руководство / В.И. Петрова, Д.А. Сычева, А.Л. Хохлова. – 2-изд., перераб и доп. – Москва, ГЭОТАР-Медиа, 2024. – 816 с.

2. Клейменова, Е.Б. Протоколы по обеспечению безопасности медицинской помощи в многопрофильном стационаре: учебно-методическое пособие / Е.Б. Клейменова, Л.П. Яшина, Д. А Сычев / ФГБОУ «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования». – М., 2021. – 352 с.

3. Косарев, В.В.. Осложнения фармакотерапии. / Косарев В.В., Бабанов С.А. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 188 с.

4. Батищевой, Г.А. Мониторинг побочного действия препаратов в клинической практике: учебное пособие / Г.А. Батищевой, Ю.Н. Чернова, О.А. Селютина – Воронеж, «Истоки», 2019. – 92 с.

Феноменологические прогнозы метеорологических параметров в приземном слое атмосферы

К. К. Курлюков, email: kkurlyukov@gmail.com
М. Е. Семенов, email: mkl150@mail.ru
В. С. Ножкин, E-mail: nozhkin-v@list.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В данной работе рассматриваются возможности и разновидности нейросетевых методов для прогноза метеорологических и климатических параметров в приземном слое атмосферы для обеспечения безопасности и повышения эффективности применения авиации.*

Ключевые слова: *климатология, метеорология, температура, реанализ, давление, экстремальные погодные явления, методы машинного обучения, нейросетевая модель, атмосферные явления и процессы, атмосфера, коэффициент детерминации.*

Введение

В последние десятилетия наблюдается возрастание интереса к разработке и применению методов машинного обучения в климатологии и метеорологии. Изменение климата, рост экстремальных погодных явлений и их влияние на экосистемы, экономику и безопасность делают прогнозирование метеорологических параметров актуальной научной задачей. Климатические изменения сопровождаются не только увеличением частоты экстремальных погодных явлений, таких как ураганы, наводнения и засухи, но и изменением долгосрочных трендов, включая глобальное потепление и перераспределение осадков. Эти явления требуют разработки более точных и адаптивных методов прогнозирования. В настоящей работе исследуется применение нейросетевых методов для прогнозирования климатических величин с использованием данных реанализа ERA5. Особое внимание уделяется разработке и оценке моделей, способных учитывать временные и пространственные зависимости в метеорологических данных, что способствует повышению точности краткосрочных и долгосрочных прогнозов. Кроме того, рассмотрены перспективы использования таких моделей в междисциплинарных исследованиях, включая адаптацию к климатическим изменениям.

© Курлюков К. К., Семенов М. Е., Ножкин В.С., 2025

1. Нейросетевые подходы в прогнозировании метеорологических и климатических величин

Метеорология изучает атмосферные процессы и явления, такие как температура, влажность, атмосферное давление, осадки и их краткосрочные изменения. Климатология, в свою очередь, занимается исследованием долгосрочных климатических тенденций. Эти области науки играют ключевую роль в обеспечении устойчивого развития общества, предоставляя информацию, необходимую для принятия решений в таких сферах, как сельское хозяйство, энергетика, здравоохранение и экология. Для анализа данных в метеорологии и климатологии активно используются реанализы, такие как ERA5, предоставляющие высокоточную и последовательную информацию о состоянии атмосферы за длительные периоды времени. ERA5 предлагает детализированные временные ряды с высоким пространственным разрешением, что позволяет анализировать климатические и метеорологические процессы на локальном и глобальном уровнях. Интеграция этих данных в нейросетевые модели повышает точность прогнозирования, особенно для сложных сценариев, включающих экстремальные погодные явления и их долгосрочные последствия.

2. Нейросетевые модели

Современные нейросетевые модели, такие как полносвязные нейронные сети (FFNN), рекуррентные сети (RNN), сети долгой краткосрочной памяти (LSTM) и генеративные состязательные сети (GAN), предоставляют мощные инструменты для анализа временных рядов и прогнозирования. Каждая из этих архитектур имеет свои преимущества при решении специфических задач, связанных с обработкой климатических данных. «FFNN» используются для выявления нелинейных зависимостей между климатическими переменными. Эти модели подходят для задач, где временные зависимости не играют ключевой роли, но требуется учёт сложных многомерных связей. «RNN» и «LSTM» применяются для анализа временных рядов, позволяя учитывать временные зависимости и моделировать долгосрочные тенденции. «LSTM», в частности, решает проблему исчезающих градиентов, что делает её эффективной при прогнозировании длинных временных последовательностей. «GAN» применимы для генерации синтетических данных, что полезно при ограниченном объёме исходных данных. Эти сети могут быть использованы для моделирования редких климатических событий или для дополнения существующих наборов данных, улучшая обучение других моделей.[2]

3. Функции активации в нейросетевых моделях

Для корректной работы нейросетей важно использование функций активации, которые определяют, каким образом выходной сигнал нейрона зависит от входных данных. Наиболее популярными функциями активации являются ReLU (Rectified Linear Unit) и Softmax.

ReLU (Rectified Linear Unit): Функция ReLU используется для обработки выходных данных нейронов в скрытых слоях. Она определяется следующим образом:

$$\mathrm{ReLU}(x)\max = (0, x) \tag{1}$$

где max – функция, возвращающая максимальное значение из двух. Графически ReLU выглядит как линейная функция с нулевым отсечением на оси абсцисс в точке 0. Это значит, что функция имеет постоянный наклон во всех точках, кроме точки 0, где происходит отсечение. ReLU имеет несколько преимуществ по сравнению со сигмоидной функцией активации. Во-первых, ReLU более вычислительно эффективна, поскольку она является простой и быстрой операцией, которая не требует вычисления экспоненты. Во-вторых, ReLU решает проблему затухания градиента, так как она не вызывает затухания градиента при обратном распространении ошибки, как это происходит в случае с сигмоидной функцией активации.

Softmax: Функция Softmax используется на выходном слое нейросети для преобразования набора значений в вероятностное распределение. Она определяется следующим образом:

$$\mathrm{Soft}\max(z_i) = \frac{e^{xi}}{\sum_j^k e^{zk}} \tag{2}$$

где z – входное значение, а сумма берётся по всем значениям k. Softmax позволяет интерпретировать выходные значения нейронов как вероятности, что делает её особенно полезной для задач классификации.[1]

4. Выявление скрытых закономерностей

Нейросетевые методы позволяют выявлять скрытые зависимости между метеорологическими параметрами, которые трудно формализовать с помощью традиционных методов. Это особенно важно для моделирования сложных нелинейных взаимодействий между такими величинами, как температура, влажность и атмосферное давление. Например, анализ временных рядов температурных данных может выявить корреляции с атмосферным давлением и влажностью, что сложно обнаружить стандартными методами. Кроме того,

нейросетевые модели способны учитывать взаимосвязи на разных временных масштабах, от краткосрочных колебаний до долгосрочных климатических трендов. Эти скрытые закономерности играют ключевую роль в понимании механизмов изменения климата и позволяют прогнозировать их последствия с высокой точностью. [6]

Различные архитектуры нейросетей, включая FFNN, RNN, LSTM и GAN, были протестированы для прогнозирования метеорологических величин. Для оценки их эффективности использовались данные реанализа ERA5 за период с 2000 по 2023 год. Особое внимание уделялось моделям типа LSTM, которые показали высокую точность при анализе временных рядов. Включение данных о сезонности и экстремальных погодных явлениях в обучающие выборки улучшило качество прогнозов.[3]

Особенностью тестируемых моделей является их способность масштабироваться в зависимости от доступного объёма данных. Например, GAN успешно применялись для генерации дополнительных данных, что особенно важно для областей с ограниченным набором исторических наблюдений. Это позволило значительно увеличить объём обучающих данных и повысить точность прогнозов в регионах с низкой плотностью наблюдательных станций.

Данные реанализа ERA5 были нормализованы с использованием метода MinMaxScaler для обеспечения корректного обучения моделей. Наборы данных были разделены на обучающую (80%) и тестовую (20%) выборки. Для каждой модели проводилась настройка гиперпараметров, таких как количество слоёв, размер пакета данных и скорость обучения. Этап подготовки данных включал также обработку пропусков и аномалий. Для этого использовались методы интерполяции и фильтрации данных. Применение таких методов позволяет устранить влияние шумов и повысить качество обучающих выборок. Дополнительно проводился анализ временной зависимости данных, что позволило выявить наиболее значимые признаки для построения прогнозов.[5]

5. Построение и оценка нейросетевой модели

Модель была разработана для прогнозирования температуры воздуха на высоте 2 метра, относительной влажности и температуры на уровне 850 гПа. Модель показала высокую точность в прогнозировании на временной интервал до шести месяцев. Её особенности включают использование многослойной структуры, позволяющей учитывать взаимодействия между различными метеорологическими величинами.

Одним из наиболее значимых аспектов применения нейросетевых моделей является прогнозирование экстремальных климатических

явлений, таких как ураганы, ливни и резкие похолодания. Использование исторических данных совместно с моделями GAN позволяет эффективно прогнозировать вероятность таких событий и их возможные последствия. Это имеет особую значимость для повышения уровня готовности к климатическим катастрофам.[4]

Изменения в климате требуют разработки адаптивных методов прогнозирования. Модели, учитывающие глобальные тренды, такие как повышение температуры океанов или изменение сезонных циклов осадков, могут помочь прогнозировать долгосрочные изменения с учётом локальных особенностей. Для этого важно интегрировать данные не только о текущем состоянии атмосферы, но и о смежных процессах, таких как изменения в растительности и гидрологических циклах.

Для оценки точности прогнозов использовались метрики MAE, RMSE и R^2. Наилучшие результаты были достигнуты для прогноза температуры воздуха (t2m) и температуры на уровне 850гПа (T850), где коэффициент детерминации R^2 превышал 0.6. Метрика MAE позволяет оценить среднее абсолютное отклонение прогнозируемых значений от фактических. Чем ниже значение MAE, тем выше точность модели. RMSE, в свою очередь, более чувствительна к крупным отклонениям, что делает её полезной для выявления аномалий в прогнозах. Коэффициент детерминации R^2 измеряет, насколько хорошо модель объясняет вариацию данных. Значение R^2, близкое к 1, указывает на высокую точность модели.

Для более глубокого анализа была проведена оценка остатков моделей, что позволило выявить области с наибольшими ошибками прогнозирования. Например, прогнозы относительной влажности оказались менее точными в периоды с аномальными погодными условиями. Это указывает на необходимость включения дополнительных факторов, таких как данные о ветровых потоках и облачности, для повышения точности модели.

Заключение

Разработка нейросетевых моделей для прогнозирования метеорологических параметров демонстрирует значительный потенциал. Использование данных ERA5 позволяет получать высокоточную информацию для обучения моделей, а применение архитектур LSTM и GAN обеспечивает точные прогнозы. Перспективы дальнейших исследований включают использование более масштабных наборов данных, улучшение архитектуры моделей и интеграцию дополнительных климатических параметров.

Список литературы

1. Hochreiter, S. Long Short-Term Memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber : Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, № 8. – P. 1735–1780.

2. Kingma, D. P. Adam: A Method for Stochastic Optimization / D. P. Kingma, J. Ba : International Conference on Learning Representations (ICLR). – 2015. – P. 9–15.

3. Goodfellow, I. Generative Adversarial Networks / I. Goodfellow : Advances in Neural Information Processing Systems. – 2014. – P. 8–10.

4. Vaswani, A. Attention Is All You Need / A. Vaswani : Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – P. 10.

5. Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. – 2017. – P. 40–50.

6. Goodfellow, I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – 2016. – P. 800.

Модель предварительного метеорологического прогноза при различной информационной обеспеченности

А. Н. Маслобойщиков, email: nikover1395@yandex.ru [1]
Н. А. Веремьев, email: nikover1395@yandex.ru [1]
Н. С. Потапов, email: nikover1395@yandex.ru [1]

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В данной статье рассматривается компонент предварительного прогнозирования (PP), входящий в систему штормового предупреждения (ШП). Основное внимание уделено общим принципам сбора, анализа и интерпретации вероятностных характеристик об опасных явлениях погоды (ОЯП), получаемых из различных информационных источников. В статье описывается интеграция данных из различных источников, а также использование шкалы неопределенности для повышения точности прогнозов. Разработанная модель является основой для принятия решений в условиях неопределённости и уменьшения рисков.*

Ключевые слова: *опасные явления погоды, прогноз, метеорологическая информация, штормовое предупреждение, предварительное прогнозирование.*

Введение

Современные климатические и метеорологические условия характеризуются значительной изменчивостью и сложностью процессов, что обусловливает необходимость разработки эффективных методов их прогнозирования. Основной задачей системы ШП является разработка компонентов, способных с высокой точностью определять вероятность появления опасных явлений погоды (ОЯП) на исследуемой территории. Важным аспектом является минимизация ошибок пропуска и ложных тревог, что напрямую влияет на безопасность и экономическую устойчивость.

Основная часть

В основу методологии входит интеграция климатической (KP), гидродинамической (GDP) и физико-статистической (FSP) информации об ОЯП, которая представляет собой компонент предварительного прогноза (PP) в системе ШП. В настоящей статье

© Маслобойщиков А. Н., Веремьев Н. А., Потапов Н. С., 2025

компонента предварительного прогноза рассмотрена на примере ОЯП конвективного происхождения (ОЯПКП) (рис. 1).



Рис. 1. Компонента предварительного прогнозирования ОЯПКП

Климатическая информация (KP) представляет собой данные, полученные из архивов и характеризующие пространственно-временное распределение ОЯПКП. Этот тип данных используется для расчёта климатических повторяемостей явлений на основе исторических наблюдений формула (1).

$$KP\left(t,\ \{x\}\right) = \left\{\left(n_{01}\right)_i,\ N_i\right\} \tag{2}$$

где $\left(n_{01}\right)_i$ – количество i-го ОЯПКП, а N_i – общее число случаев i-го ОЯПКП в анализируемом периоде.

Гидродинамическая информация (GDP) включает данные, полученные с использованием моделей атмосферной циркуляции. Эти данные позволяют прогнозировать ключевые параметры атмосферы, влияющие на формирование опасных явлений. Примером расчёта является формула (2):

$$GDP\ \left(t,\ \{x\}\right)\ =\ \left\{PA_{ij}\right\} \tag{3}$$

где PA_{ij} – j-й показатель атмосферы при прогнозировании i-го ОЯП.

Физико-статистическая информация (FSP) основана на статистическом анализе наблюдательных данных и физических закономерностей. Этот подход применяет методы машинного обучения и аналитические модели для оценки вероятностей возникновения ОЯП. Общий вид формулы (3):

$$FSP\left(t,\ \{x\}\right)\ =\ \left\{DNN_{ij}\right\} \tag{4}$$

где DNN_{ij} – j-ые данные при использовании i-го метода прогнозирования.

Интеграция этих трёх источников данных создаёт синергетическую систему, позволяющую компенсировать недостатки каждого отдельного метода и улучшить точность прогнозов. Итоговая модель предварительного прогнозирования представлена формулой (4):

$$PP(t,\{x\}) = KP(t,\{x\}),\ GDP(t,\{x\}),\ FSP(t,\{x\}) \quad (5)$$

Для повышения точности прогнозирования разработана шкала неопределённости (Таблица 1), которая разделяет вероятности возникновения явлений на три категории: вероятно, возможно и маловероятно. Данная шкала помогает принимать оперативные решения на основе объективных данных.

Таблица 2

Шкала неопределённости

Терминология	**Условия**
Вероятно	Наличие условий для образования (> 70%)
Возможно	Пограничные условия для образования (30-70%)
Маловероятно	Отсутствие условий для образования (≤ 30%)

При превышении вероятности 70% система переходит к компоненте обнаружения и анализа ОЯПКП. Этот процесс включает оценку потенциальных рисков и подготовку к реагированию на ОЯПКП.

Эффективность предложенной компоненты определяется её способностью интегрировать разнородные данные. Климатическая информация обеспечивает базу для долгосрочного анализа, гидродинамические прогнозы – высокую детализацию, а физико-статистические методы – гибкость при работе с большими объёмами данных. Вместе они позволяют минимизировать неопределённость прогнозов, что крайне важно в условиях изменяющегося климата.

Реализация модели требует надёжной инфраструктуры для сбора и обработки данных, включая использование современных вычислительных мощностей и алгоритмов анализа данных. Применение шкалы неопределённости делает систему доступной для специалистов различного уровня подготовки, что облегчает интерпретацию результатов.

В качестве примера работы модели рассмотрен прогноз вероятности появления ливневого дождя в городе Воронеж на 27 августа 2024 года.

На первом этапе рассчитывается климатическая информация (KP):

на основе архивных данных произвелся анализ климатической повторяемости, который показал, что в этом регионе за последние 30 лет в августе зафиксировалось 20 случаев ливневых дождей и общее число

дней за период составляет 30, расчет вероятности KP представлен в выражении 5:

$$KP(t,\ \{x\}) \ = \ (20/30) \ \approx \ 0{,}666 \ (66{,}6\%) \qquad (6)$$

На втором этапе используя модель атмосферной циркуляции получаем гидродинамическую информацию (GDP), которая показывает, что текущие параметры давления, температуры и влажности воздуха на различных высотах дают вероятность возникновения ливневого дождя в районе 0,3 (30%).

На третьем этапе на основе данных наблюдательных станций и анализа аналогичных погодных условий рассчитывается физико-статистическая информация (FSP) в данном примере в качестве показателя рассчитался метод А.Ф. Заводченкова который показал что, вероятность возникновения ливневого дождя в районе составляет 0,45 (45%).

Итоговый расчет вероятности представлен в выражении 6:

$$PP(t,\ \{x\}) \ = \ max(0.666,\ 0.30,\ 0.45) \ \approx \ 0.666 \ (66\%) \qquad (7)$$

Согласно шкале неопределённости, это условие соответствует категории «Возможно» возникновение ливневого дождя по району города Воронеж.

Результаты такого прогноза могут быть использованы для подготовки превентивных мер, включая оповещение населения и разработку планов по минимизации возможного ущерба.

Заключение

Таким образом предложенная модель предварительного прогнозирования ОЯПКП представляет собой эффективный инструмент для управления рисками, связанными с климатическими и погодными явлениями. Её применение позволяет не только повысить точность прогнозов, но и улучшить систему принятия решений в условиях неопределённости. Будущие исследования будут направлены на совершенствование методов интеграции данных и адаптацию модели к условиям различных регионов

Список литературы

1. РД 52.04.567.2003. Руководящий документ. Положение о государственной наблюдательной сети – С 5-6.

2. Маслобойщиков, А.Н. Модель предварительного прогнозирования метеорологических условий образования опасных явлений погоды/ А. Н. Маслобойщиков, Н. А. Веремьёв, А. В. Каморников // Проблемы, методы, технологии: сб. материалов XXIV

международной научно-практической конф. Под редакцией к.т.н. Борисова Д. Н., (Воронеж, Воронежский государственный университет 14-15 февраля 2024 г.). – Воронеж, 2024. – С. 404-410.

3. Маслобойщиков, А.Н. Модель оценки информации, используемой при гидрометеорологическом обеспечении потребителей/ А. Н. Маслобойщиков, Н. А. Веремьёв, А. И. Аристов // Проблемы, методы, технологии: сб. материалов XXIII международной научно-практической конф. Под редакцией к.т.н. Борисова Д. Н., (Воронеж, Воронежский государственный университет 15-17 февраля 2023 г.). – Воронеж, 2023. – С. 349-356.

4. Маслобойщиков, А.Н. Оценка объема метеорологической информации / А. Н. Маслобойщиков, Н. А. Веремьёв, М. А. Прохоров // Проблемы, методы, технологии: сб. материалов XXII международной научно-практической конф. Под редакцией к.т.н. Борисова Д. Н., (Воронеж, Воронежский государственный университет 10-12 февраля 2022 г.). – Воронеж, 2022. – С. 351-357.

5. Маслобойщиков, А.Н. Особенности организации системы штормового предупреждения при метеорологическом обеспечении государственной авиации/ А. Н. Маслобойщиков, Н. А. Веремьёв, М. А. Прохоров // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Гидрометеорологическое (метеорологическое) и геофизическое обеспечение» сб. стат. I НТК. ФГАУ "Военный инновационный технополис «ЭРА». Анапа, 2021 – С. 115-117.

Применение систем компьютерной математики для исследования симметрических пространств с почти симплектической структурой

Н. П. Можей, email: mozheynatalya@mail.ru

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Аннотация. *Работа посвящена описанию использования систем компьютерной математики для исследования четырехмерных симметрических однородных пространств с инвариантной невырожденной почти симплектической структурой, рассматривается комплексный случай.*

Ключевые слова: *система компьютерной математики, однородное пространство, почти симплектическая структура, комплексная алгебра Ли.*

Введение

Симплектическая геометрия дает математический аппарат для таких областей физики, как классическая механика, геометрическая оптика, термодинамика и др., симплектическое многообразие – это многообразие с заданной на нем симплектической формой (замкнутой невырожденной дифференциальной 2-формой), оно позволяет, в частности, естественным геометрическим образом ввести гамильтонову механику и дает наглядное толкование многим ее свойствам, в исследовании симплектических многообразий существенную помощь оказывают пакеты прикладных программ. В данной работе описывается применение систем компьютерной математики для исследования четырехмерных симметрических однородных пространств с инвариантной невырожденной почти симплектической структурой, рассматривается комплексный случай.

1. Применение систем компьютерной математики

Программное обеспечение и информационные ресурсы, которые могут оказаться полезными при исследовании однородных пространств, довольно разнообразны, это могут быть как специализированные, так и универсальные математические пакеты, а также программы, созданные в какой-то универсальной среде программирования. Система компьютерной математики Maple имеет мощную систему символьных

© Можей Н. П., 2025

вычислений, что позволяет ее использовать для выполнения достаточно громоздких преобразований математических формул и выражений, с которыми приходится иметь дело при изучении дифференциальной геометрии. Также в Maple есть подгружаемый пакет DifferentialGeometry, содержащиеся там команды и функции ориентированы на геометрию поверхностей, тензорное исчисление, изучение алгебр Ли и др. Для многих математических задач, решаемых по заданному алгоритму, в Maple имеются готовые команды. Maple обладает мощными средствами визуализации вычислений и математических понятий, обеспечивает управляемые пользователем возможности отображения информации на экране, позволяет минимальными средствами создавать свои эффективные программы. Остановимся подробнее на применении Maple для исследования симплектических однородных пространств.

Множество функций Maple реализовано в проблемно-ориентированных пакетах расширения. Информацию о пакетах расширения Maple можно получить, используя команду ?packages. Для нахождения изотропно-точных пар используются пакеты DifferentialGeometry, GroupActions, LieAlgebras, Tensor и другие. Например, чтобы определить алгебру Ли $\overline{\mathfrak{g}}$ применяется пакет DifferentialGeometry. Этот пакет представляет собой набор команд и подпакетов с тесно интегрированными инструментами для вычислений в области исследований на многообразиях (работа с векторными полями, дифференциальными формами и преобразованиями), в области тензорного анализа, вычислений на пространствах джетов, изучения алгебр Ли и групп Ли и их преобразований и др. Алгебры Ли играют существенную роль в дифференциальной геометрии и ее приложениях, пакет LieAlgebras является подпакетом пакета DifferentialGeometry, он содержит, в частности, команды для определения алгебр Ли и создания новых алгебр из существующих, например, DirectSum, Extension, LieAlgebraData, MatrixAlgebras, QuotientAlgebra, SimpleLieAlgebraData, SemiDirectSum и др. Общую структуру алгебры Ли можно исследовать с помощью команд Decompose, Query, Series, Nilradical, Radical и др., а структуру полупростой алгебры Ли – с помощью команд Cartan-Decomposition, CartanSubalgebra, CartanMatrix, CompactRoots, Positive-Roots, RootSpaceDecomposition, RestrictedRootSpaceDecomposition. Подпакет GroupActions предоставляет базовые возможности для работы с группами Ли, важную геометрическую информацию дают подалгебры изотропии, а также представления в касательном пространстве, их можно рассчитать с помощью этого подпакета. Подпакет Tensor содержит набор команд для работы с тензорами на касательном

расслоении многообразия (или на любом векторном расслоении), он дает возможность использования команд для стандартных алгебраических операций над тензорами, для вычисления ковариантного дифференцирования, кривизны и др.

Для того, чтобы задать алгебру Ли $\overline{\mathfrak{g}}$, вводятся ее структурные константы и используется команда DGsetup для инициализации алгебры, то есть для определения базисных элементов алгебры, и для сохранения структурных констант алгебры Ли в памяти. Команда LieAlgebraData, в общем случае, преобразует различные реализации алгебры Ли, например, алгебру векторных полей на многообразии в абстрактную алгебру Ли, ее таблицу умножения можно посмотреть с использованием команды MultiplicationTable. Команда LieAlgebraData находит структурные константы для правоинвариантных векторных полей, совпадающие со структурными константами алгебры Ли $\overline{\mathfrak{g}}$. После инициализации можно проводить любые вычисления и проверки. Для подалгебры $\mathfrak{g}$ указывается базис. Команда LieGroup пакета GroupActions непосредственно строит глобальную группу Ли $\overline{G}$ по заданной алгебре Ли $\overline{\mathfrak{g}}$. С помощью команды LeftMultiplication можно получить явную формулу для левого умножения элементов группы в координатах. Лево- и правоинвариантные векторные поля на $\overline{G}$ вычисляются командой InvariantVectorsAndForms. Фактор группы $\overline{G}$ по подгруппе G является четырехмерным многообразием. Действие группы Ли $\overline{G}$ на многообразии M является композицией проекции, левого умножения (dotLeft) группы $\overline{G}$ на $\overline{G}$ и сечения. Локальное действие $\overline{G}$ на M вычисляется с использованием команды InfinitesimalTransformation. Результат можно проверить, поскольку структурные константы получаемой алгебры Ли векторных полей совпадают со структурными константами алгебры $\overline{\mathfrak{g}}$. Единица группы $\overline{G}$ проектируется в точку на многообразии M и позволяет найти стабилизатор (подгруппу G), используя команду IsotropySubalgebra. В дальнейшем будем использовать указанные команды для получения искомой классификации.

2. Описание четырехмерных симметрических однородных пространств с инвариантной невырожденной почти симплектической структурой

Пусть $(\overline{G}, M)$ – четырехмерное однородное пространство и $G = \overline{G}_x$ – стабилизатор произвольной точки $x \in M$. Паре $(\overline{G}, G)$ поставим в соответствие пару $(\overline{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$, где $\overline{\mathfrak{g}}$ – алгебра Ли группы Ли $\overline{G}$ и $\mathfrak{g}$ – подалгебра в $\overline{\mathfrak{g}}$, соответствующая подгруппе Ли G. Назовем пару $(\overline{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ эффективной, если подалгебра $\mathfrak{g}$ не содержит ненулевых идеалов алгебры Ли $\overline{\mathfrak{g}}$. Проблема классификации однородных пространств $(\overline{G}, M)$ равносильна классификации (с точностью до эквивалентности) пар групп Ли $(\overline{G}, G)$. Используя линеаризацию, эту проблему можно свести к классификации эффективных пар алгебр Ли $(\overline{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ с точностью до эквивалентности пар [1].

Пара $(\overline{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ называется изотропно-точной, если точно изотропное представление подалгебры $\mathfrak{g}$. Однородное пространство $\overline{G}/G$ редуктивно, если $\overline{\mathfrak{g}}$ может быть разложена в прямую сумму векторных пространств – алгебры Ли $\mathfrak{g}$ и $\mathrm{a}d(G)$-инвариантного подпространства V, т. е. если $\overline{\mathfrak{g}} = \mathfrak{g} + V$, $\mathfrak{g} \bigcap V = 0$; $\mathrm{a}d(G)V \subset V$. Второе условие влечет $[\mathfrak{g}, V] \subset V$ и наоборот, если G связна. Такое разложение называется каноническим. Если $\overline{G}/G$ редуктивно, то линейное представление изотропии для G всегда точное. Симметрические однородные пространства – частный случай редуктивных однородных пространств. Если $\overline{G}/G$ является симметрическим, то $[\mathfrak{g}, \mathfrak{g}] \subset \mathfrak{g}$, $[\mathfrak{g}, V] \subset V$ и $[V, V] \subset \mathfrak{g}$.

Пусть $V = \overline{\mathfrak{g}}/\mathfrak{g}$ – $\mathfrak{g}$-модуль, соответствующий изотропному представлению. Пространство $B(V)$ билинейных форм на V естественным образом становится $\mathfrak{g}$-модулем, если положить $(x.b)(v_1, v_2) = -b(x.v_1, v_2) - b(v_1, x.v_2)$, где $x \in \mathfrak{g}$, $v_1, v_2 \in V$, $b \in B(V)$. Почти симплектической структурой на $\mathfrak{g}$-модуле V называется невырожденная, кососимметрическая билинейная форма $b \in B(V)$ такая, что $x.b = 0$ для всех $x \in \mathfrak{g}$. Другими словами, $b \in B(V)^{\mathfrak{g}}$. Не

ограничивая общности, можно считать, что алгебра Ли $\mathfrak{g}$ является подалгеброй в линейной алгебре Ли $\mathfrak{sp}(4,\mathbb{C})$.

Решение задачи классификации изотропно-точных пар разбивается на следующие этапы: классификация с точностью до сопряженности всех подалгебр алгебры Ли $\mathfrak{sp}(4,\mathbb{C})$, для каждой найденной подалгебры $\mathfrak{g}$ – классификация (с точностью до эквивалентности) изотропно-точных пар $(\overline{\mathfrak{g}},\mathfrak{g})$, у которых изотропное представление сопряжено подалгебре $\mathfrak{g}$. В работе [2] приведены подалгебры в $\mathfrak{sp}(4,\mathbb{C})$, описан алгоритм нахождения почти симплектических изотропно-точных пар, там же даны основные определения и более подробное обоснование применяемых методов. Применяя алгоритм для подалгебр $\mathfrak{g}$ в $\mathfrak{sp}(4,\mathbb{C})$ и указанные выше команды пакета Maple, находим соответствующие изотропно-точные почти симплектические однородные пространства. Выбирая из полученных пар симметрические, получаем локальное описание четырехмерных симметрических однородных пространств с инвариантной невырожденной почти симплектической структурой.

Заключение

Таким образом, приведены специализированные команды и функции пакета Maple, оказывающие существенную помощь в проведении научных исследований по дифференциальной геометрии, в частности, описано их применение для исследования четырехмерных симметрических однородных пространств с инвариантной невырожденной почти симплектической структурой.

Список литературы

1. Mostow, G. D. The Extensibility of Local Lie Groups of Transformations and Groups on Surfaces / G. D. Mostow // Ann. Math. – 1950. – Vol. 52. No.3. – P. 606–636.

2. Mozhey, N. P. Four-dimensional homogeneous spaces with almost symplectic structure. The complex case / N. P. Mozhey // Proceedings of BSTU, issue 3, Physics and Mathematics. Informatics. – 2021. – Vol. 242. No.1. – P. 13–18.

Математическая модель процесса диффузионного переноса аэрозольных примесей с учетом их физико-химических свойств и атмосферных условий

Н. Равшанов, email: ravshanzade-09@mail.ru
И.С. Набиева, email: irodamubina777@gmail.com

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта

Аннотация. *Аннотация. В статье анализируются виды аэрозоля при распространении вредных веществ в атмосфере с помощью математической модели, использующей физико-химические свойства окружающей среды. Модель учитывает температуру, распределение скорости ветра по трем направлениям, изменение диаметра частиц, коэффициенты поглощения и зеленой зоны. На основе этой модели проведен расчет численным методом с использованием метода открытых конечных разностей и получен результат с помощью программного средства.*

Ключевые слова: *скорость ветра, вычислительные эксперименты, диаметр частиц, атмосфера, математическая модель.*

Введение

Исследования, направленные на разработку и совершенствование математических моделей, алгоритмов расчета и программного обеспечения для оценки и прогнозирования процесса загрязнения атмосферы, проводятся во многих ведущих научных центрах и университетах мира. Можно выделить работы следующих ученых по различным аспектам методологии математического моделирования в этой области.

В работах Пантушевой М., Миткова Р. и других упоминается о развитии технологий параллельных вычислений и увеличением доступных исследователям вычислительных ресурсов модели вычислительной гидродинамики (CFD) которые приобретают все большую популярность. Эти модели базируются на системе дифференциальных уравнений в частных производных, которые зависят от времени и трех пространственных координат, выражая основные физические законы сохранения вещества, массы, импульса и энергии [1].

© Равшанов Н., Набиева И. С., 2025

Анализ широкого спектра источников [2–4] свидетельствует о том, что проблемы моделирования процессов распространения загрязняющих веществ в атмосфере остаются все более актуальными в контексте различных аспектов. Используя результаты этих ученых, можно улучшить несколько моделей.

В исследовании [5] представлено численное моделирование процессов переноса и диффузии загрязняющих веществ в пограничном слое атмосферы. Предложена математическая модель, описывающая распространение промышленных выбросов с учетом динамики мелкодисперсных частиц и различных факторов, влияющих на изменение концентрации вредных веществ в воздушной среде.

В работах [6,7] представлены две двумерные модели, предназначенные для описания взаимодействия воздушного потока с неоднородным растительным покровом в приземном слое атмосферы. Проведены численные эксперименты, демонстрирующие характеристики ветрового поля над неоднородным растительным покровом, таким как лесополоса и участок леса с полностью вырубленными зонами. Для численного решения уравнений моделей применены неявные разностные схемы.

В исследовании [8] экспериментальные методы и моделирование применялись для анализа дисперсионных характеристик тяжелых газовых загрязнителей, таких как углекислый газ, в условиях изолированной застройки. Были изучены влияние расстояния от источника выброса до здания и размер самого здания. Результаты показали, что высота здания существенно влияет на скорость ветра и интенсивность турбулентности на наветренной и подветренной сторонах, тогда как ширина здания оказывает сравнительно менее значительное воздействие. Для моделирования использовалась модель RNG k-ε, которая продемонстрировала свою эффективность в визуализации ветрового потока, а также была проверена на точность и применимость.

В статьях [9-12] остается нерешенным вопрос определения вязкости и скорости диффузии органических соединений во вторичном органическом аэрозоле (ВОА). Метод подвижности микро-шариков был применен для измерения вязкости в зависимости от активности воды в ВОА. Для оценки скорости диффузии органических веществ в моделях частиц ВОА использовались измеренные значения вязкости в сочетании с уравнением Стокса-Эйнштейна, что соответствует подходам, применяемым другими исследователями.

Постановка задачи

Исходя из вышеизложенного, важными параметрами для изучения переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере являются состав скоростей ветра разных направлений и рельеф рассматриваемых территорий. Рассмотрим математическую модель, описывающую эти аспекты, основанную на принципах гидромеханики:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}+u\frac{\partial\theta}{\partial x}+v\frac{\partial\theta}{\partial y}+\left(w-w_g\right)\frac{\partial\theta}{\partial z}+\sigma\theta+\alpha\theta=$$

$$=D_x\left(T,|u|,d_p\right)\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}+D_y\left(T,|v|,d_p\right)\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2}+ \quad (1)$$

$$+D_z\left(T,\left|w-w_g\right|,d_p\right)\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}+\delta Q,$$

и соответствующие начальные и граничные условия:

$$\theta\big|_{t=0}=\theta^0; \quad (2)$$

$$\left.\frac{\partial\theta}{\partial x}\right|_{x=0}=\frac{\theta_{Ex0}(t)-\theta\big|_{x=0}}{\Delta x};\left.\frac{\partial\theta}{\partial x}\right|_{x=L_x}=\frac{\theta_{ExL}(t)-\theta\big|_{x=L_x}}{\Delta x}; \quad (3)$$

$$\left.\frac{\partial\theta}{\partial y}\right|_{y=0}=\frac{\theta_{Ey0}(t)-\theta\big|_{y=0}}{\Delta y};\left.\frac{\partial\theta}{\partial y}\right|_{y=L_y}=\frac{\theta_{EyL}(t)-\theta\big|_{y=L_y}}{\Delta y}; \quad (4)$$

$$\left.\frac{\partial\theta}{\partial z}\right|_{z=0}=\frac{\theta_{Ez0}(t)-\theta\big|_{z=0}}{\Delta z};\left.\frac{\partial\theta}{\partial z}\right|_{z=L_z}=\frac{\theta_{EzL}(t)-\theta\big|_{z=L_z}}{\Delta z}. \quad (5)$$

Здесь, θ – концентрация вредных веществ в атмосфере; t – время; θ_E – концентрация, проходящая через границы рассматриваемой области; x, y, z – система координат; u, v, w – скорости ветра по трем направлениям; w_g – скорость оседания частиц; σ – коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере; α – коэффициент, организующий удержание частиц элементами растительности; D_x, D_y, D_z – коэффициенты диффузии; Q – мощность источника; δ – функция Дирака.

Для расчета концентрации загрязняющих веществ $\theta_E(t)$, переносимых потоком на границе, и значений в области вблизи границы используются следующие функции.

$$\theta_{Ex0}(t)=\begin{cases}Q,(t_{x0}-t)\wedge u>=0\\ \theta\big|_{x=0}\end{cases},\ \theta_{ExL}(t)=\begin{cases}Q,(t_{xL}-t)\wedge u<=0\\ \theta\big|_{x=L_x}\end{cases},$$

$$\theta_{Ey0}(t)=\begin{cases}Q,(t_{y0}-t)\wedge v>=0\\ \theta\big|_{y=0}\end{cases},\ \theta_{EyL}(t)=\begin{cases}Q,(t_{yL}-t)\wedge v<=0\\ \theta\big|_{y=L_y}\end{cases}, \qquad (6)$$

$$\theta_{Ez0}(t)=\begin{cases}Q,(t_{z0}-t)\wedge w>=0\\ \theta\big|_{z=0}\end{cases},\ \theta_{EzL}(t)=\begin{cases}Q,(t_{zL}-t)\wedge w<=0\\ \theta\big|_{z=L_z}\end{cases}.$$

Здесь, $\theta_E(t)$ определяется как функции, зависящие от времени, и используется в случаях, когда вредное вещество попадает в домен из внешней среды; в других случаях оно рассматривается как текущее значение. В рассматриваемом нами процессе вредное вещество рассматривается не как точечный или линейный источник, а как пространственный источник внутри домена. Где, L_x, L_y, L_z — длина, ширина и высота рассматриваемой области.

Q, наблюдаемый на границе, определяется следующим образом:

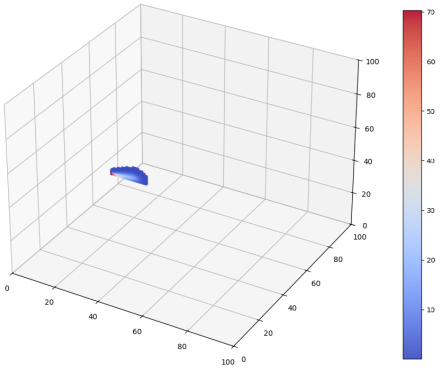
$$Q=\begin{cases}Q_m,\ \delta(x_i-x_q)(y_j-y_q)(z_k-z_q)=1\\ 0\end{cases}; \qquad (7)$$

Q_a, Q_m – мощность в каждой точке источника, выделяющего вредное вещество вне сферы и внутри сферы соответственно.

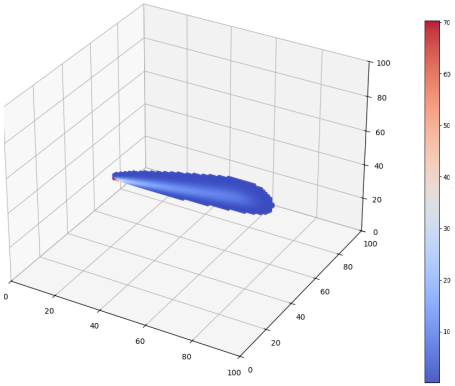
$$\forall x_q, y_q, z_q \in \Omega_q, \qquad (8)$$

где, x_q, y_q, z_q – точки расположения источника, x_i, y_j, z_k – расчетные точки, а Ω_q – область расположения источника.

На рис. 1-4 представлен процесс переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере. При расчете учитываются скорость ветра и температура, а результаты значительно менялись в течение различных периодов времени.



Puc. 1. Q = 1000 µg/m3; H = 20 m; t = 8 sek; u = 2.3 m/s; v = 1.3 m/s; w = 0.05 m/s kB=1.38e-23; dp=1.1e-5



Puc. 2. Q = 1000 µg/m3; H = 20 m; t = 28 sek; u = 2.3 m/s; v = 1.3 m/s; w = 0.05 m/s kB=1.38e-23; dp=1.1e-5

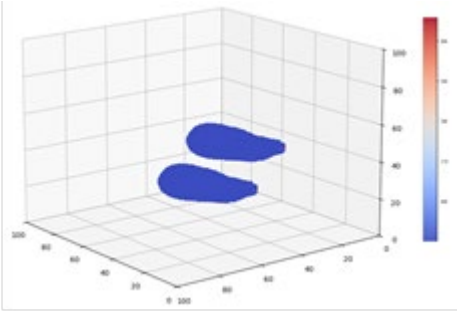


Рис. 3. Q = 1000 µg/m3; H = 20 m; H = 40 m; t = 10 sek; u = 3.4 m/s; v = 2.3 m/s; w = 0.05 m/s kB=1.38e-23; dp=1.1e-5

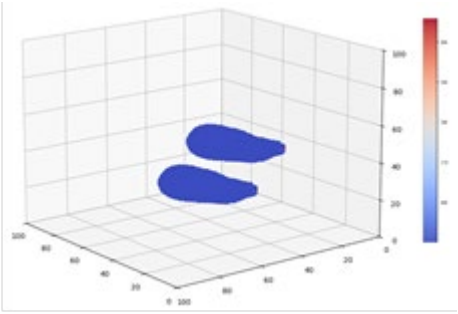


Рис. 4. Q = 1000 µg/m3; H = 20 m; H = 40 m; t = 20 sek; u = 3.4 m/s; v = 2.3 m/s; w = 0.05 m/s kB=1.38e-23; dp=1.1e-5

В рамках данного исследования был разработан объектно-ориентированный программно-инструментальный комплекс, включающий в себя несколько интегрированных программных инструментов с использованием современных, широко распространенных технологий, таких как язык программирования Python, Django и Django Rest Framework, OSM, OWM, Google Maps, а также библиотеки для анализа и визуализации данных, такие как NumPy, Pandas, SciPy, Matplotlib, Requests, Folium и Beautiful Soup (bs4).

Заключение

В данной работе разработана математическая модель, позволяющая анализировать распространение вредных веществ в атмосфере с учетом физико-химических свойств. Модель учитывает такие ключевые факторы, как температура, распределение скорости ветра в трехмерном пространстве, изменение размеров частиц, коэффициенты поглощения и

влияния зеленых зон. Для численного решения применен метод открытых конечных разностей, что позволило эффективно проводить расчеты и визуализировать результаты с использованием программного обеспечения. Используя эту модель, мы можем точно проанализировать процесс диффузии вредных веществ в атмосфере.

Список литературы

1. Air Pollution Dispersion Modelling in Urban Environment Using CFD: A Systematic Review / M. Pantusheva [et al.] // Atmosphere. – 2022. – Vol. 13. – P. 1-35. – doi: http://10.3390/atmos13101640.
2. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И Марчук– М: Наука. 1982. – 320 с.
3. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е Берлянд– Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.
4. Дымников В.П. Физика атмосферы и океана / В.П Дымников– 1990. с. 1327–1247.
5. Равшанов, Н. Разработка математический модели и программного комплекса для прогнозирования концентрации вредных веществ в атмосфере / Равшанов Н., Шафиев Т. Назаров.Ш. // Scientific collection “Interconf.” 2021. – 186 с.
6. Haeckel, E. Generelle Morphologie der Organismen. / Haeckel, E. // Bd.2. – Berlin: Georg Reimer, 1866. – 652 с.
7. Риклефс, Р. Основы общей экологии / Риклефс Р. ; М. Мир, 1979 . – 424 с.
8. Fan. Y. Study of Wind Flow Patterns and Heavy Gas Pollutants Dispersion Under Isolated Building Terrain / Fan. Y., Gao H. // 2021, doi: 10.21203/rs.3.rs-498671/v1.
9. Ullmann D. A. Viscosities, diffusion coefficients, and mixing times of intrinsic fluorescent organic molecules in brown limonene secondary organic aerosol and tests of the Stokes–Einstein equation / D. A. Ullmann // Atmos. Chem. Phys., 19, 1491-1503.
10. Smith, J. D. Investigation of aerosol particle growth dynamics under varying humidity conditions / 11 Smith, J. D., Brown, K. A., Wilson, P. R., Johnson, M. E., and Taylor, G. R.: // Atmos. Environ., 45, 1234–1245, https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.12.003, 2011.
11. Zhang, Y. Role of secondary organic aerosols in urban air pollution / Zhang, Y., Wang, H., Chen, J., Xu, L., and Zhou, X.: // A case study in Beijing, China, Environ. Sci. Technol., 52, 2456–2463, https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04532, 2018.
12. Optical properties of black carbon aerosols influenced by photochemical aging processes / Lee H. [et al.] // J. Geophys. Res., 124, 3409–3421, https://doi.org/10.1029/2018JD029374, 2019.

Математическое моделирование течений полимерных жидкостей в пористой среде

А. С. Негробова, email: 20alisa@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной работе представлены подходы к моделированию течений жидкостей через пористую среду с учетом сопротивления среды. Выводятся уравнения движения, включающие параметры проницаемости и сопротивления, а также рассмотрены их классические и обобщенные решения. Основное внимание уделяется доказательству теоремы существования и единственности решения для обобщенного случая. Особое место занимает анализ классического подхода к задачам движения жидкости в пористой среде и его ограничений.*

Ключевые слова: *уравнения движения, пористая среда, классические и обобщенные решения, теорема существования и единственности, закон Дарси, вторая степень жидкости, сопротивление среды.*

Введение

Моделирование движения жидкостей через пористые среды является важной задачей в гидромеханике и находит применение в различных отраслях, таких как нефтедобыча, фильтрация и переработка полимеров. Основой для анализа таких систем служит обобщенный закон Дарси, описывающий взаимосвязь между градиентом давления и скоростью фильтрации с учетом проницаемости среды.

Целью данной работы является изучение уравнений движения жидкости в пористых средах с учетом их сопротивления, а также анализ существующих решений. Рассматривается задача, основанная на уравнении Дарси и дополняющая его членами, описывающими вязкоупругие свойства жидкостей и сопротивление среды. Для построения решений применяются методы анализа классических и обобщенных уравнений.

В качестве аналогии рассмотрена статья Е.С. Барановского [1], в которой исследуется течение жидкости второй степени с применением краевых условий Навье, но без учета влияния пористой среды.

© Негробова А. С., 2025

Предложенные формулы служат основой для сравнения подходов и разработки новых методов анализа.

1. Учет сопротивления

Член $\frac{\mu}{K}u$, описывающий сопротивление пористой среды, выводится на основе обобщённого уравнения движения жидкости через пористую среду, которое включает эффект сопротивления. Основой для вывода является закон Дарси.

Закон Дарси утверждает, что скорость фильтрации u пропорциональна градиенту давления ∇p и обратно пропорциональна коэффициенту проницаемости K:

$$u = -\frac{K}{\mu}\nabla p, \tag{1}$$

где μ – вязкость жидкости.

Так же необходимо учесть сопротивление: в уравнении движения жидкости сопротивление среды выражается как сила трения, пропорциональная скорости потока u:

$$сила_сопротивления = -\frac{\mu}{K}u \tag{2}$$

Это сопротивление возникает из-за взаимодействия жидкости с пористой структурой.

2. Уравнение движения с учетом пористой среды

$$\begin{cases} \dfrac{\partial u}{\partial t} - \mu\dfrac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \alpha\dfrac{\partial^3 u}{\partial t \partial y^2} + \dfrac{\mu}{K}u = \xi, y \in (0,h), t \in (0,T), \\ \mu\dfrac{\partial u}{\partial y} = ku, y = 0, t \in (0,T), \\ \mu\dfrac{\partial u}{\partial y} = -ku, y = h, t \in (0,T), \\ u = u_0, y \in (0,h), t = 0, \end{cases} \tag{3}$$

где:

u – скорость течения,

μ – вязкость жидкости,

α – параметр, описывающий вязкоупругие свойства жидкости второго порядка,

K – коэффициент проницаемости пористой среды,

ξ – постоянный градиент давления, вызванный внешними силами.

Включение члена $\frac{\mu}{K}u$ в уравнение описывает сопротивление пористой среды, которое зависит от её проницаемости K. Чем меньше значение K, тем больше сопротивление, оказываемое порой.

3. Классические решения и единственность решения

Определение 1 (Классическое решение).

Функция $u:[0,h]\times[0,T]\to R$ называется классическим решением задачи (3), если выполняются 2 условия:

1. Функции $u,\frac{\partial u}{\partial t},\frac{\partial u}{\partial y},\frac{\partial^2 u}{\partial y^2},\frac{\partial^3 u}{\partial t\partial y^2}$ принадлежат пространству $C_0([0,h]\times[0,T])$.
2. Функция u удовлетворяет системе (3).

Теорема 1 (Единственность и энергетическое равенство для классических решений).

Пусть u – классическое решение задачи (3). Тогда это решение единственно и удовлетворяет энергетическому равенству:

$$\begin{aligned}&\int_0^h u^2(y,t)dy+\alpha\int_0^h\left(\frac{\partial u}{\partial y}(y,t)\right)^2 dy+\frac{\alpha k}{\mu}(u^2(h,t)+u^2(0,t))+\\&2k\int_0^t(u^2(h,s)+u^2(0,s))ds+2\mu\int_0^t\int_0^h\left(\frac{\partial u}{\partial y}(y,s)\right)^2 dyds+\\&\frac{\mu}{K}\int_0^t\int_0^h u^2(y,s)dyds=2\xi\int_0^t\int_0^h u(y,s)dyds+\int_0^h u_0^2(y)dy+\\&\alpha\int_0^h(u_0'(y))^2dy+\frac{\alpha k}{\mu}(u_0^2(h)+u_0^2(0)),\forall t\in[0,T].\end{aligned}\tag{4}$$

Доказательство:

Рассмотрим два классических решения u_1 и u_2 задачи (3) с одинаковыми начальными и граничными условиями. Определим разность $w\triangleq u_1-u_2$

Тогда для w выполняется следующее уравнение:

$$\frac{\partial w}{\partial t}-\mu\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}-\alpha\frac{\partial^3 w}{\partial t\partial y^2}+\frac{\mu}{K}w=0, y\in(0,h), t\in(0,T) \tag{5}$$

$$\mu\frac{\partial w}{\partial y}=kw, y=0, t\in(0,T) \tag{6}$$

$$\mu\frac{\partial w}{\partial y}=-kw, y=h, t\in(0,T) \tag{7}$$

$$w=0, y\in(0,h), t=0 \tag{8}$$

Умножим обе части (5) на w и проинтегрируем полученное равенство по y от 0 до h:

$$\int_0^h\frac{\partial w}{\partial y}w dy=\mu\int_0^h\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}w dy+\alpha\int_0^h\frac{\partial^3 w}{\partial t\partial y^2}w dy-\frac{\mu}{K}\int_0^h w^2 dy \tag{9}$$

Используя соотношение $(f^2)'=2ff'$ и интегрирование по частям, выводим из (9):

$$\begin{aligned}&\frac{1}{2}\int_0^h\frac{\partial}{\partial t}(w^2)dy=-\mu\int_0^h\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 dy+\mu\frac{\partial w}{\partial y}(h,t)w(h,t)-\\&\mu\frac{\partial w}{\partial y}(0,t)w(0,t)-\frac{\alpha}{2}\int_0^h\frac{\partial}{\partial t}\left(\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2\right)dy+\\&\alpha\frac{\partial^2 w}{\partial t\partial y}(h,t)w(h,t)-\alpha\frac{\partial^2 w}{\partial t\partial y}(0,t)w(0,t)-\frac{\mu}{K}\int_0^h w^2 dy\end{aligned} \tag{10}$$

Принимая во внимание граничные условия (6) и (7), получаем:

$$\begin{aligned}&\frac{1}{2}\int_0^h\frac{\partial}{\partial t}(w^2)dy=-\mu\int_0^h\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 dy-kw^2(h,t)-kw^2(0,t)\\&-\frac{\alpha}{2}\int_0^h\frac{\partial}{\partial t}\left(\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2\right)dy-\frac{ak}{2\mu}\frac{\partial w^2}{\partial t}(h,t)-\frac{ak}{2\mu}\frac{\partial w^2}{\partial t}(0,t)\\&-\frac{\mu}{K}\int_0^h w^2 dy\end{aligned} \tag{11}$$

Интегрируя это равенство по отношению t от 0 до τ и используя (8), приходим к следующему неравенству:

$$\int_0^h w^2(y,\tau)dy \le 0, \tau \in [0,T] \tag{12}$$

Что подразумевает, что w – нулевая функция. Таким образом $u_1 = u_2$.

Чтобы вывести энергетическое равенство, справедливое для классического решения, умножим обе части первого равенства из системы (3) на функцию u. Далее, применяя формулу интегрирования по частям и затем интегрируя полученное равенство по времени от 0 до t, мы приходим к (4). Таким образом, теорема 1 доказана.

4. Обобщенные решения

Предложенная концепция классических решений неудобна, поскольку в ее рамках проблема (3) не разрешима для широкого класса естественных начальных данных. Например, если

$$u_0 \in C^1[0,h] \setminus C^2[0,h], \tag{13}$$

тогда проблема (3) не имеет классических решений. Действительно, предполагая, что u это классическое решение, у нас есть $u_0 = u(\cdot,0) \in C^2[0,h]$, что противоречит (13). Поэтому мы вводим понятие обобщенных решений, а затем доказываем соответствующую теорему существования и единственности.

Определение 2 (Обобщённое решение).

Будем говорить, что функция $u:[0,h]\times[0,T] \to R$ является обобщенным решением проблемы (3), если существуют последовательности $\{u^{(m)}\}_{m=1}^{\infty}$ и $\{u_0^{(m)}\}_{m=1}^{\infty}$ такие что выполняются следующие три условия: для любого $m \in N$, функция $u^{(m)}$ является классическим решением проблемы

1. $$\begin{cases} \dfrac{\partial v}{\partial t} - \mu \dfrac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \alpha \dfrac{\partial^3 v}{\partial t \partial y^2} + \dfrac{\mu}{K} v = \xi, y \in (0,h), t \in (0,T), \\ \mu \dfrac{\partial v}{\partial y} = kv, y = 0, t \in (0,T), \\ \mu \dfrac{\partial v}{\partial y} = -kv, y = h, t \in (0,T), \\ v = u_0^{(m)}, y \in (0,h), t = 0, \end{cases} \quad (14)$$

2. последовательность $\{u^{(m)}\}_{m=1}^{\infty}$ сходится к функции u равномерно на множестве $[0,h]\times[0,T]$ как $m \to \infty$;

3. последовательность $\{u_0^{(m)}\}_{m=1}^{\infty}$ сходится к функции u_0 в пространстве Соболева $H^1[0,h]$ как $m \to \infty$.

Очевидно, если функция u является классическим решением проблемы (3), то эта функция является обобщенным решением единственности. Обратное утверждение неверно. Например, обобщенное решение может иметь гладкость, недостаточную для того, чтобы быть классическим решением.

Понятие обобщенных решений имеет ясный физический смысл: обобщенное решение – это равномерный предел некоторой последовательности классических решений рассматриваемой модели с малыми возмущениями начальных скоростных данных, когда эти возмущения равномерно стремятся к нулевой функции.

Следующая теорема дает наши основные результаты.

Теорема 2 (Существование, единственность и явные выражения для обобщённых решений).

Предположим, что функция u_0 принадлежит пространству Соболева $H^1[0,h]$. Затем:

– проблема (3) имеет единственное обобщенное решение;

– для расчета обобщенного решения можно использовать следующую формулу:

$$u(y,t) = u_*(y) + \sum_{m=1}^{\infty} C_m q_m(y) \varphi_m(t) \quad (15)$$

где:

$$u_* = -\frac{\xi K}{2\mu} y(y-h) + \frac{\xi h K}{2k} \text{ (стационарный компонент)} \tag{16}$$

$$q_m(y) = \frac{h}{\eta_m}\left(\frac{h}{2} + \frac{\mu k h^2}{\eta_m^2\mu^2 + k^2h^2 + \frac{\mu^2}{K}}\right)^{-\frac{1}{2}} \sin\left(\frac{\eta_m}{h} y + \psi_m\right) \tag{17}$$

$$\varphi_m(t) = \exp\left(-\frac{\eta_m^2\mu}{h^2 + \alpha\eta_m^2 + \frac{\mu^2}{K}} t\right) \tag{18}$$

$$\psi_m = \arctan\left(\frac{\mu\eta_m}{kh} + \frac{\mu}{Kh}\right) \tag{19}$$

$$\begin{aligned} C_m = &\int_0^h (u_0'(y) - u_*'(y)) q_m'(y) dy + \\ &\frac{k}{\mu}(u_0(0) - u_*(0))\left(1 + \frac{\mu}{K}\right) q_m(0) + \\ &\frac{k}{\mu}(u_0(h) - u_*(h))\left(1 + \frac{\mu}{K}\right) q_m(h) \end{aligned} \tag{20}$$

и числа $\{\eta_1, \eta_2, ...\}$ являются положительными корнями трансцендентного уравнения

$$\cot\eta = \frac{\mu\eta}{2kh} - \frac{kh}{2\mu\eta} + \frac{\mu}{Kh} \tag{21}$$

относительно η.

Доказательство:

Беря во внимание [2], мы построим обобщенное решение (3) с помощью сведения исходной задачи к задаче Штурма–Лиувилля с граничными условиями типа Робина. Доказательство теоремы 2 выводится в пять этапов.

Шаг 1: Переход к новой неизвестной функции. Рассмотрим функцию u_*, которая определена в (16). Используя представление $u(y,t) = \tilde{u}(y,t) + u_*(y)$, мы сводим (3) к новой проблеме:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \tilde{u}}{\partial t} - \mu \dfrac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial y^2} - \alpha \dfrac{\partial^3 \tilde{u}}{\partial t \partial y^2} + \dfrac{\mu}{K} \tilde{u} = 0, y \in (0,h), t \in (0,T), \\ \mu \dfrac{\partial \tilde{u}}{\partial y} = k\tilde{u}, y = 0, t \in (0,T), \\ \mu \dfrac{\partial \tilde{u}}{\partial y} = -k\tilde{u}, y = h, t \in (0,T), \\ \tilde{u} = u_0 - u_*, y \in (0,h), t = 0, \end{cases} \tag{22}$$

относительно новой неизвестной функции $\tilde{u}$.

Шаг 2: Разделение переменных.

Построим нетривиальные решения задачи (22) в форме

$$\tilde{u}(y,t) = \varphi(t) q(y) \tag{23}$$

Из первого соотношения (22), мы выводим

$$\varphi'(t)(q(y) - \alpha q''(y)) = \mu \varphi(t) \left(q''(y) - \frac{1}{K} q(y) \right) \tag{24}$$

Нас интересует случай, когда $q - \alpha q'' \neq 0$. Действительно, если $q - \alpha q'' \equiv 0$, то из (24) следует, что $q'' \equiv \dfrac{1}{K} q(y)$, но при $K \to \infty$ это приводит $q'' \equiv 0$, что несовместимо с используемыми граничными условиями при $q'' \neq 0$.

Возьмем y_0 такой, что $q(y_0) - \alpha q''(y_0) \neq 0$ и $\lambda \triangleq \dfrac{q''(y_0) - \dfrac{1}{K} q(y_0)}{q(y_0) - \alpha q''(y_0)}$.

Заменяя $y = y_0$ в (24), получаем

$$\varphi'(t)(q(y_0) - \alpha q''(y_0)) = \mu \varphi(t) \left(q''(y_0) - \frac{1}{K} q(y_0) \right) \tag{25}$$

Откуда

$$\varphi'(t) = \lambda \mu \varphi(t) \tag{26}$$

Из (24) и (26) следует, что

$$\lambda(q(y) - \alpha q''(y)) = q''(y) - \frac{1}{K} q(y) \tag{27}$$

что эквивалентно

$$-q''(y)+\frac{\lambda+\frac{1}{K}}{1+\lambda\alpha}q(y)=0 \tag{28}$$

Более того, для удовлетворения граничных условий из системы (22), должны выполняться следующие соотношения:

$$-\mu q'(0)+kq(0)=0 \tag{29}$$

$$\mu q'(h)+kq(h)=0 \tag{30}$$

Система (28)–(30) является частным случаем известной задачи Штурма–Лиувилля. Собственные значения, связанные с задачами (28) – (30) – это числа $(\eta_m/h)^2$, где $m\in N$, а η_m является положительным корнем уравнения (21), тогда как собственные функции определены в (17). Обратите внимание, что эти собственные функции выбираются таким образом, чтобы их нормы в пространстве $H^1_{k/\mu}[0,h]$ равны 1 для любого $m\in N$.

Шаг 3: Нахождение компонентов решения, распадающихся во времени. Значения параметра λ определяются из соотношения

$$-\frac{\lambda_m+\frac{1}{K}}{1+\lambda_m\alpha}=\left(\frac{\eta_m}{h}\right)^2, m\in N \tag{31}$$

Откуда

$$\lambda_m=-\frac{\eta_m^2}{h^2+\alpha\eta_m^2+\frac{h^2}{K}}, m\in N \tag{32}$$

Подставляя эти значения в (26), приходим к формуле

$$\varphi_{m,C(t)}=C\exp\left(-\frac{\eta_m^2\mu}{h^2+\alpha\eta_m^2+\frac{h^2}{K}}t\right), C=const, m\in N \tag{33}$$

для затухающих во времени компонентов решения рассматриваемой задачи.

Шаг 4: Построение обобщенного решения в виде ряда. Возьмем $\varphi_m\triangleq\varphi_{m,1}$ и введем функцию $\tilde{u}_m:[0,h]\times[0,T]\to R$,

$$\tilde{u}_m(y,t)\triangleq q_m(y)\varphi_m(t), m\in N \tag{34}$$

которая удовлетворяет первым трем соотношениям системы (22).

Использование последовательности функций $\{\tilde{u}_m\}_{m=1}^{\infty}$, можно построить обобщенное решение для (22). Для этого рассмотрим ряд функций

$$\sum_{m=1}^{\infty} l_m \tilde{u}_m(y,t) \tag{35}$$

где

$$l_m \triangleq (u_0 - u_*, q_m)_{H^1_{k/\mu}[0,h]}, m \in N \tag{36}$$

Покажем, что ряд (35) равномерно сходится на множестве $[0,h]\times[0,T]$. Обратите внимание, что следующие утверждения верны.

– Из предложения 1 следует, что последовательность $\{q_m\}_{m=1}^{\infty}$ является ортонормированным базисом пространства $H^1_{k/\mu}[0,h]$.

– Следующий ряд $\sum_{m=1}^{\infty} l_m q_m(y)$ сходится в пространстве Соболева $H^1[0,h]$, и, следовательно, этот ряд равномерно сходится на $[0,h]$.

– Для любого $t \in [0,t]$, последовательность $\{\varphi_m(t)\}_{m=1}^{\infty}$ монотонна.

– Для любого $t \in [0,t]$ и $m \in N$, существует $0 < \varphi_m(t) \le 1$.

Применяя обобщенный критерий Абеля, устанавливаем равномерную сходимость ряда (43) на $[0,h]\times[0,T]$.

Далее определим функцию $\tilde{u} : [0,h]\times[0,T] \to R$ по формуле

$$\tilde{u}(y,t) \triangleq \sum_{m=1}^{\infty} l_m \tilde{u}_m(y,t)$$

и покажем, что эта функция является обобщенным решением задачи (22).

Пусть

$$\tilde{u}^{(m)}(y,t) \triangleq \sum_{i=1}^{\infty} l_i \tilde{u}_i(y,t) \tag{37}$$

Очевидно, что мы имеем следующее:

– для любого $m \in N$, функция $\tilde{u}^{(m)}$ удовлетворяет первым трем соотношениям системы (22);

– последовательность $\{\tilde{u}_m\}_{m=1}^{\infty}$ сходится к функции $\tilde{u}$ равномерно на $[0,h]\times[0,T]$ при $m \to \infty$.

Более того, по равенствам (34), (36) и (37), можно получить

$$\tilde{u}^{(m)}(y,0) = \sum_{i=1}^{m} l_i \tilde{u}_i(y,0) = \sum_{i=1}^{m} l_i q_i(y) = \sum_{i=1}^{m} (u_0 - u_*, q_i)_{H^1_{k/\mu}[0,h]} q_i(y) \tag{38}$$

Так как последовательность $\{q_i\}_{i=1}^{\infty}$ является ортонормированным базисом пространства $H^1_{k/\mu}[0,h]$, то из (38) следует, что последовательность $\{\tilde{u}^{(m)}(\cdot,0)\}_{m=1}^{\infty}$ сходится к функции $u_0 - u_*$ в пространстве $H^1_{k/\mu}[0,h]$ при $m \to \infty$. Следовательно,

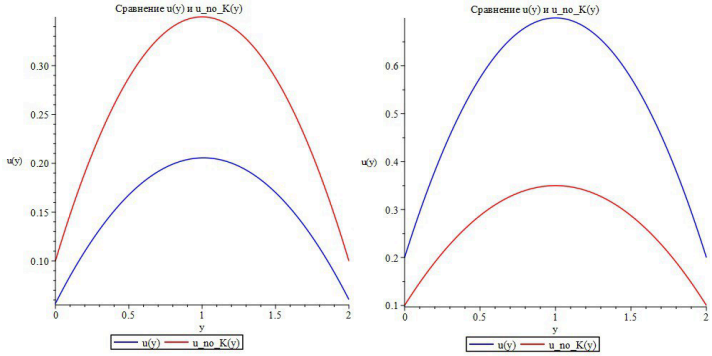
$$\tilde{u}^{(m)}(\cdot,0) \to u_0 - u_* \tag{39}$$

в пространстве $H^1[0,h]$ при $m \to \infty$.

Объединяя (39) с утверждениями (1) и (2) мы заключаем, что функция $\tilde{u}$ является обобщенным решением задачи (22). Поэтому можно легко проверить, что функция u определенная в (15) является обобщенным решением задачи (3).

Шаг 5: Уникальность. Доказательство единственности полученного обобщенного решения можно провести стандартными методами (см., например, [3]), поэтому мы опускаем подробности. Таким образом, доказательство теоремы 2 завершено.

На рис. 1 можно заметить, что при совершенно одинаковых показателях синий график, учитывающий пористую среду, покажет меньший результат в плотной среде и больший – в менее пористой, в то время так красный график не изменится.



а б

$\mu = 1$, $k = 5$, $h = 2$, $\alpha = 0.2$, $\xi = 0.5$, $u_0(y) = (y-2)(y+2)$, $y \in [0, h]$, $t = 10$ – *общие параметры. а)* $K = 0.6$. *б)* $K = 2$.

Рис. 1. Графики движения жидкостей с учетом (синий) и без учета (красный) пористой среды

Заключение

В данной работе рассмотрены уравнения движения жидкости в пористой среде с учетом сопротивления среды. Проведен вывод уравнений, основанный на законе Дарси, включающий член сопротивления, пропорциональный скорости потока. Особое внимание уделено анализу классических и обобщенных решений, что позволило доказать существование и единственность обобщенного решения для широкого класса начальных данных.

Сравнение с результатами Е.С. Барановского (рис. 1), полученными для течения жидкостей второй степени без учета пористой среды, продемонстрировало важность включения влияния сопротивления для более полного описания физических процессов. Полученные выводы и методы могут быть использованы для верификации численных моделей и разработки новых подходов к решению задач гидродинамики.

Таким образом, предложенная методология открывает перспективы для дальнейшего изучения процессов течения в пористых средах, а также их приложений в промышленности и инженерной практике.

Список литературы

1. Baranovskii, E. S. Analytical solutions to the unsteady Poiseuille flow of a second-grade fluid with slip boundary conditions / E. S. Baranovskii // Polymers. – 2024. – Т. 16. – № 179.

2. Artemov, M. A. Unsteady flows of low-concentrated aqueous polymer solutions through a planar channel with wall slip / M. A. Artemov, E. S. Baranovskii // European Journal of Advanced Engineering and Technology. – 2015. – T. 2 – № 1. – C. 50-54.

3. Petrovsky, I. G. Lectures on Partial Differential Equations / I. G. Petrovsky. – New York: Interscience Publishers – 1954.

4. Darcy, H., Les fontaines publiques de la ville de Dijon / H. Darcy. – Paris: Victor Dalmont – 1856.

5. Ting, T. W. Exact solutions of non-linear differential equations of second-grade fluids/ T. W. Ting // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. – 1963. – T. 1. – C. 185-203.

Результаты компьютерного моделирования разрешения голограмм источников в нерегулярном волноводе

С. А. Переселков, email: pereselkov@yandex.ru[1]
В. М. Кузькин, email: kumiov@yandex.ru[2]
И. М. Косенко, email: kosenko.edu@yandex.ru[1]
Н. В. Ладыкин, email: ladykin.edu@yandex.ru[1]

[1] Воронежский государственный университет
[2] Институт общей физики им А.М. Прохорова РАН

Аннотация. *В работе представлены результаты численного эксперимента по разрешению сигналов в нерегулярном океаническом волноводе голографическим методом. В рамках эксперимента показано, что голограмма сигналов нескольких источников представляет собой суперпозицию голограмм отдельных сигналов, а в случае неоднородности среды она является также суммой голограмм возмущённого и невозмущенного полей. Результаты представлены для случая двух источников в присутствии интенсивных внутренних волн. Продемонстрирован алгоритм очистки спектральных плотностей сигналов и предложен критерий их разрешения.*

Ключевые слова: *голографическая обработка, нерегулярный волновод, спектральная плоскость, разрешение сигналов, интенсивные внутренние волны.*

Введение

В задачах гидроакустики одной из наиболее важных проблем является достижение устойчивости алгоритма к помехам в условиях неоднородности волновода. Особая трудность возникает из-за того, что метод должен адаптироваться к изменяющимся условиям водной среды. Недавние теоретические исследования, численные и натурные эксперименты показали, что эффективным решением может быть голографический подход [1-3]. Он сосредотачивает спектральную плотность сигнала в узкой области голограммы, тем самым снижая влияние помех и улучшая устойчивость алгоритма.

Голографические методы продемонстрировали свою эффективность при работе в неоднородных волноводах, где пространственно-временные возмущения существенно влияют на распространение звукового поля [4-8]. Достигается это благодаря тому, что на голограмме возможно разделить области, соответствующие

© Переселков С. А., Кузькин В. М., Косенко И. М., Ладыкин Н. В., 2025

возмущенному и невозмущенному компонентам поля, что позволяет с небольшими потерями извлечь полезную составляющую сигнала. Впервые подобная возможность была показана на данных эксперимента SWARM-95 [4, 5], где внутренняя волновая активность создавала горизонтальную рефракцию и взаимодействие мод акустического поля.

В целом, голографический подход позволяет обнаруживать слабошумные источники [9-11], определять местоположение и пеленг [12-17] и даже выделять отдельные моды звукового поля [18-20]. Но одно из наиболее значимых приложений голографии – возможность разрешения нескольких шумовых сигналов с использование одиночного скалярного приемника. Впервые решение этой задачи было предложено в [21] для регулярного волновода с интенсивными помехами, маскирующими сигналы. В данной работе алгоритм детально описан, разработаны критерии разрешения сигналов, поставлен численный эксперимент для двух источников в условиях явления горизонтальной рефракции.

Результаты компьютерного моделирования

В рамках численного моделирования рассмотрим разрешение двух шумовых сигналов с применением одиночного приемника на фоне интенсивных внутренних волн (ИВВ), вызывающих горизонтальную рефракцию мод звукового поля. Распределение скорости звука по глубине приведено на рис. 1. Диапазон частот $\Delta f = 100 - 120$ *Гц*. Параметры жидкого поглощающего дна: отношение плотности грунта и воды $\rho = 1.8$, комплексный показатель преломления $n = 0.84(1 + 0.03i)$. Поле формируется $M = 4$ модами. Постоянные распространения мод $h_m(f_0)$ и их производные по частоте $dh_m(f_0)/df$ на средней частоте спектра $f_0 = 110$ *Гц* приведены в таблице.

Таблица

Параметры мод при частоте $f_0 = 110$ *Гц*

Номера мод, m	**1**	**2**	**3**	**4**
$h_m, м^{-1}$	0.4635	0.4557	0.4450	0.4310
$(dh_m / df)/10^{-3}, с/м$	2.4015	2.4177	2.4504	2.5172

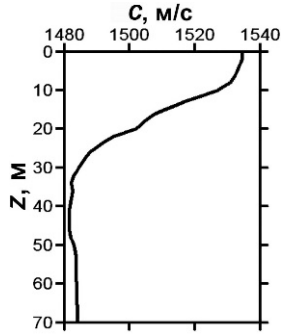


Рис. 1. Невозмущенный профиль скорости звука

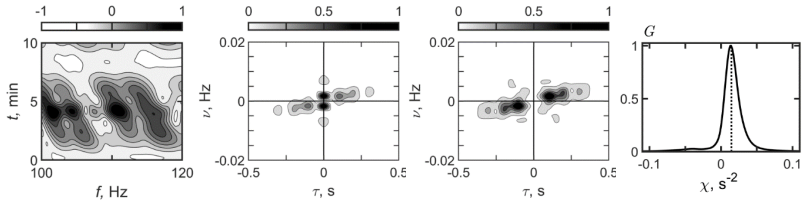
В начальный момент времени $t_0 = 0$ расстояние между источниками и приемником $r_{0(1,2)} = 12$ *км*. Радиальные скорости источников: $w_{(1)} = -1$ *м / с*, $w_{(2)} = -4$ *м / с*. Источники расположены на глубине $z_{(1,2)} = 15$ *м*, одиночный приемник – на глубине $z_q = 65$ *м*. Равномерный спектр шумоизлучения, интенсивность одинаковая. Шумовые реализации длительностью $T = 4$ *с* звукового давления регистрируются с периодичностью $T_* = 5$ с. Модель возмущения: цуг ИВВ, состоящий из трех одинаковых солитонов. Параметры солитона: амплитуда $A = 20$ *м*, ширина $\eta = 200$ *м*, скорость $u = 0.7$ *м / с*. Период между солитонами $\Lambda = 250$ *м*. Ширина фронта возмущения превышает длину трассы. Время наблюдения $\Delta t = 10$ *мин*.

Результаты голографической обработки в отсутствие ИВВ по сигналам отдельных источников и суммарному сигналу двух источников представлены на рис. 2–4. Угловые коэффициенты наклона интерференционных полос: $\delta f_{(1)} / \delta t_{(1)} = -0.015$ c^{-2} (рис. 2а); $\delta f_{(2)} / \delta t_{(2)} = -0.062$ c^{-2} (рис. 3а). Координаты пиков первых фокальных пятен: $\tau_{1(1)} = 0.075$ *с*, $\nu_{1(1)} = 0.0019$ *Гц* (рис. 2б); $\tau_{1(2)} = 0.077$ *с*, $\nu_{1(2)} = 0.0068$ *Гц* (рис. 3б). Восстановленные параметры источников: $w_{(1)} = -1.12$ *м / с*, $r_{0(1)} = 12.21$ *км*; $w_{(2)} = -3.93$ *м / с*, $r_{0(2)} = 12.53$ *км*. Положения максимумов функций обнаружения: $\varepsilon_{(1)} = 0.015$ c^{-2} (рис.

2в); $\varepsilon_{(2)} = 0.062\ c^{-2}$ (рис. 3 в). Ширина полосы функции обнаружения на уровне 0.5 от максимума: $\Delta\chi_{(1)} = 0.018\ c^{-2}$; $\Delta\chi_{(2)} = 0.037\ c^{-2}$.

На интерферограмме суммарного поля (рис. 4а) прослеживаются перекрывающиеся интерференционные полосы сигналов двух источников, т.е. сигналы источников не интерферируют между собой. На голограмме (рис. 4 б) спектральные плотности сигналов практически не накладываются друг на друга, поэтому координаты фокальных пятен, определяющие координаты источников, не изменяются. Максимумы функций обнаружения (рис. 4 в) приходятся на значения угловых коэффициентов, отвечающих отдельным сигналам. При равной мощности излучения, как видно из рис. 4в, максимум функции обнаружения, отвечающий первому сигналу, в 1.93 раза превышает максимум, второго сигнала. Это различие связано с увеличением ширины полосы функции обнаружения. Таким образом, в отсутствие ИВВ сигналы двух источников разрешаются.

Результаты голографической обработки при наличии ИВВ показаны на рис. 2–4. ИВВ вызывают размытие интерференционных полос отдельных сигналов. Угловые коэффициенты наклона локализованных полос $\delta f_{(1)} / \delta t_{(1)} = -0.014\ c^{-2}$ (рис. 2а); $\delta f_{(2)} / \delta t_{(2)} = -0.063\ c^{-2}$ (рис. 3а).



а б в г

Рис. 2. Нормированные интерферограмма (а), модуль неочищенной голограммы (б), модуль голограммы после очистки (в) и функция обнаружения очищенной голограммы (г) в присутствии ИВВ. Источник двигается с радиальной скоростью $w_{(1)} = -1 м / с$.

Изменение угла наклона интерференционных полос по сравнению со случаем отсутствия ИВВ не заметно. На оси частоты неочищенных голограммах (рис. 2б, 3б) наблюдаются спектральные плотности в

форме фокальных пятен, обусловленных интерференцией волн возмущенного поля. Интенсивность этих спектральных пятен существенно превышает интенсивность фокальных пятен невозмущенных сигналов, что обусловлено большим временем наблюдения. Очищенные от ИВВ спектральные плотности голограмм вдоль оси частоты представлены на рис. 2в, 3в. Координаты пика первых фокальных пятен: $\tau_{1(1)} = 0.077\ c$, $\nu_{1(1)} = 0.0017\ Гц$ (рис. 2в); $\tau_{1(2)} = 0.077\ c$, $\nu_{1(2)} = 0.0070\ Гц$ (рис. 3в). Восстановленные параметры источников: $w_{(1)} = -0.96\ м/с$, $r_{0(1)} = 12.53\ км$; $w_{(2)} = -4.06\ м/с$, $r_{0(2)} = 12.53\ км$.

Как видно, при очистке голограмм ИВВ практически не влияют на восстановленные параметры отдельных источников. Положения максимумов функций обнаружения: $\varepsilon_{(1)} = 0.015\ c^{-2}$ (рис. 2г); $\varepsilon_{(2)} = 0.061\ c^{-2}$ (рис. 3г). Ширина полосы функции обнаружения на уровне 0.5 от максимума: $\Delta\chi_{(1)} = 0.020\ c^{-2}$; $\Delta\chi_{(2)} = 0.051\ c^{-2}$. В области отрицательных значений χ для второго сигнала наблюдается незначительный максимум функции обнаружения, отвечающий интерференции невозмущенных и возмущенных волновых полей источника. Максимум в 4.14 раза меньше пика невозмущенного сигнала.

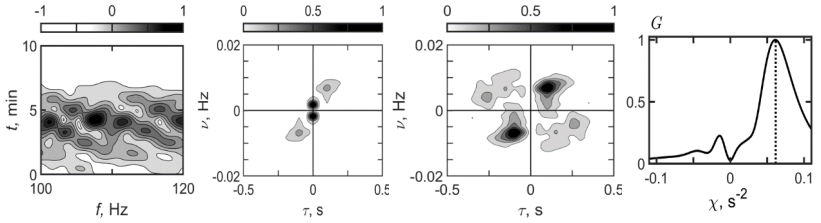
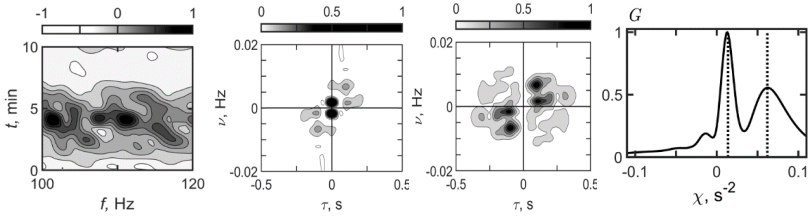


Рис. 3. Нормированные интерферограмма (а), модуль неочищенной голограммы (б), модуль голограммы после очистки (в) и функция обнаружения очищенной голограммы (г) в присутствии ИВВ. Источник двигается с радиальной скоростью $w_{(2)} = -4 м/с$.

Интерферограмма суммарного поля (рис. 4а) представляет собой совокупность фокальных пятен на фоне размытой интерференционной

картины. На неочищенной голограмме (рис. 4б), как и в случае отдельных сигналов источников (рис. 2б, 3б), на оси частоты регистрируются фокальные пятна возмущенного поля, которые по интенсивности намного превышают интенсивность фокальных пятен невозмущенных сигналов.



а б в г

Рис. 4. Нормированные интерферограмма (а), модуль неочищенной голограммы (б), модуль голограммы после очистки (в) и функция обнаружения очищенной голограммы (г) в присутствии ИВВ, сформированные сигналами двух источников.

Заключение

Представлены результаты численного эксперимента по разрешению сигналов источников в случайно-неоднородном океаническом волноводе голографическим методом. Описан алгоритм разрешения сигналов от различных источников. Показано, что в условиях пространственно-временой изменчивости океанической среды голограмма представляет собой сумму голограмм отдельных сигналов и возмущенного поля. Спектральная плотность полезных сигналов локализуется в узких полосах, ширина которых зависит sot времени наблюдения, а наклон определяется параметрами движения источников. Фокальные пятна возмущенного поля концентрируются в узкой полосе вдоль оси частот. Такая конфигурация позволяет с высокой точностью извлекать из голограмм данные о конкретном источнике.

Список литературы

1. Переселков, С. А. Голографическая обработка широкополосных гидроакустических сигналов / С.А. Переселков, В.М. Кузькин ; Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. – 183 с.

2. Pereselkov S.A. Interferometric processing of hydroacoustic signals for the purpose of source localization / Pereselkov S.A., Kuz'kin V.M. // J. Acoust. Soc. Am. – 2022. – Vol. 151, № 2. – P. 666-676.

3. Ehrhardt M. Experimental observation and theoretical analysis of the low-frequency source interferogram and hologram in shallow water / Ehrhardt M., [et al.] // J. Sound Vibr. – 2023. – Vol. 544. – P. 117388.

4. Kuz'kin V.M. Intense internal waves and their manifestation in interference patterns of received signals on oceanic shelf / Kuz'kin V.M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2018. – Vol. 26, № 2. – P. 160-167.

5. Badiey M. Intense internal waves and their manifestation in the interference patterns of received signals on oceanic shelf. Part II / Badiey M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2019. – Vol. 27, № 4. – P. 313-319.

6. Kaznacheeva E.S. Interferometric processing of hydroacoustic information in the presence of intense internal waves / Kaznacheeva E.S., Kuz'kin V.M., Pereselkov S.A. // Phys. Wave Phenom. – 2021. – Vol. 29, № 3. – P. 278-284.

7. Pereselkov S. Three-dimensional modeling of sound field holograms of a moving source in the presence of internal waves causing horizontal refraction / Pereselkov S., [et al.] // J. Mar. Sci. Eng. – 2023. – Vol. 11, № 10. – P. 1922.

8. Kuz'kin V.M. Robustness of holographic processing of hydroacoustic signals in the presence of intense internal waves / Kuz'kin V.M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2023. – Vol. 31, № 5. – P. 346-354.

9. Казначеев И.В. Интерферометрический метод обнаружения движущегося источника звука векторно-скалярным приемником / Казначеев И.В., [и др.]. // Акуст. журн. – 2018. – Т. 64, № 1 – С. 33-45.

10. Кузькин В.М. Обнаружение источника в диспергирующих средах / Кузькин В.М., [и др.] // РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 337-344

11. Kuz'kin V.M. Range of detection of underwater sound source / Kuz'kin V.M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2023. – Vol. 31, № 5. – P. 339-345.

12. Кузнецов Г.Н. Спектрограмма и локализация источника звука в мелком море / Кузнецов Г.Н., Кузькин В.М., Пересёлков С.А. // Акуст. журн. – 2017. – Т. 63, № 4. – С. 406-418.

13. Kuznetsov G.N. Interferometric method for estimating the velocity of a noise sound source and the distance to it in shallow water using a vector-scalar receiver / Kuznetsov G.N., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2017. – Vol. 25, № 4. – P. 299-306.

14. Kuz'kin V.M. Interferometric direction finding by a vector-scalar receiver / Kuz'kin V.M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2018. 26, № 1. – С. 63-73.

15. Kuznetsov G.N. finding of a noise sound source / Kuznetsov G.N., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2019. – T. 27, № 3. – P. 237-241.

16. Кузькин В.М. Голографическая обработка движущихся источников в мелком море при наличии интенсивных внутренних волн / Кузькин В.М., [и др.] // РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 197-204.

17. Кузькин В.М. Голографический метод локализации движущегося источника звука в присутствии интенсивных внутренних волн / Кузькин В.М., [и др.] // РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2023. – Т.15, № 3. – С. 317-326.

18. Kuz'kin V.M. Mode selection in oceanic waveguides / Kuz'kin V.M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2022. – Vol. 30, № 2. – P. 111-118.

19. Kuz'kin V.M. Holographic method for mode selection in a shallow sea in the presence of intense internal waves / Kuz'kin V.M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2022. –Vol. 30, № 5. – P. 314-320.

20. Кузькин В.М. Выделение мод шумового источника в мелком море методом голографической интерферометрии в присутствии интенсивных внутренних волн / Кузькин В.М., [и др.] // РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2022. –Т.14, № 3. – С. 279-286.

21. Kuz’kin V.M. Resolving power of the interferometric method of source localization / Kuz’kin V.M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2018. – Vol. 26, № 2. – P. 150-159.

Численное моделирование голограммы шумового источника, движущегося в береговом клине

С. А. Переселков, email: pereselkov@yandex.ru [1]
В. М. Кузькин, email: kumiov@yandex.ru [2]
И. М. Косенко, email: kosenko.edu@yandex.ru [1]
Н. В. Ладыкин, email: ladykin.edu@yandex.ru[1]

[1] Воронежский государственный университет
[2] Институт общей физики им А.М. Прохорова Российской академии наук

Аннотация. *Представлены результаты численного эксперимента по оценке параметров движущегося подводного шумового источника в мелководной акватории с нерегулярной батиметрией с использованием одиночного векторно-скалярного приемника. В качестве неоднородности дна рассматривается береговой клин, вызывающий явление горизонтальной рефракции мод звукового поля. Обработка ведётся в рамках голографического подхода.*

Ключевые слова: *голографическая обработка, локализация источника, векторно-скалярный приемник, береговой клин, горизонтальная рефракция волн.*

Введение

Голографический метод обработки звукового поля был создан во многом как ответ на необходимость вести работу в условиях пространственно-временной изменчивости океанической среды [1-9]. В отличие от некоторых других подходов, например, широко известных согласованных методов [10-13], он практически не требует никаких предварительных знаний о структуре волновода, характере сигнала и помехах. За такое направление отвечают так называемые адаптивные методы локализации [14-17]. Как правило, они добавляют ещё один приемник в систему на известном удалении, позволяя тем самым с помощью голографии узнать, как среда влияет на звукое поле в зависимости от расстояния. Оценка параметров при этом может производится также на векторно-скалярных приёмниках, позволяющих рассчитывать пеленг движущегося источника.

Особенно проблема адаптации к среде актуальна для мелкого моря, где отсутствует достоверная информация о характеристиках дна, а нестационарные процессы в водной толще могут приводить к

© Переселков С. А., Кузькин В. М., Косенко И. М., Ладыкин Н. В., 2025

существенной гидрологической изменчивости. Высокая эффективность голографического подхода связана здесь в первую очередь с тем, что она основана на устойчивых особенностях интерференционной картины (интерферограммы) [18]. Благодаря этим особенностям удаётся анализировать параметры движущихся источников с минимальным вкладом помех. На голограмме спектральная плотность полезного сигнала фокусируется в узкой области в координатах частота-время и делает возможным обнаружение и локализацию даже малошумных подводных источников звука.

В ходе натурных и численных экспериментов показано, что голографический метод обработки достаточно универсален и эффективен в неоднородных мелководных акваториях. Частные аспекты устойчивости алгоритма по отношению к вариациям параметров дна, возмущениям глубины волновода и скорости звука в толще воды проанализированы в работах [2, 19]. Восстановление параметров подводных источников звука на фоне интенсивных внутренних волн исследовано в [16, 17, 20-26].

В данной работе на основе голографической обработки рассмотрено восстановление параметров шумового источника в мелководной акватории с нерегулярной батиметрией, в роли которой выбран береговой клин, обуславливающий горизонтальную рефракцию волн. Приведены результаты численного моделирования по определению пеленга, удаленности и радиальной скорости шумового источника (проекции скорости в направлении на приемник). В качесиве приемной системы используется одиночный векторно-скалярный приемник (ВСП).

Результаты численного эксперимента

В рамках численного моделирования обсудим устойчивость голографического метода с применением одиночного ВСП по отношению к нерегулярной батиметрии в форме берегового клина, имитирующего изменение глубины мелководной акватории, в области которой, в зависимости от взаимного расположения источника и приемника, может наблюдаться горизонтальная рефракция или взаимодействие мод звукового поля. Для данного эксперимента помеху будем считать нулевой. Звуковые поля будем расчитывать методом модовых параболических уравнений [28].

Нерегулярная батиметрия в форме клина, расположение приемника и источника показаны на рис. 1. Изменение глубины описывается выражением $z(x, y) = H_0 + ky$, где $H_0 = 50$ *м*, $k = \tan\alpha = 0.01$. Параметры однородного поглощающего жидкого дна: комплексный

показатель преломления $n = 0.84(1 + i0.03)$, плотность $\rho = 1.8$ *г / см*^{3}. Скорость звука в воде $c = 1500$ *м / с*.

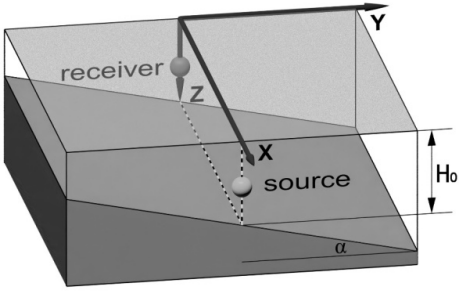


Рис. 1. Геометрия задачи.

Координаты одиночного приемника: $x_q = y_q = 0$, $z_q = 45$ *м*. Источник расположен на глубине $z_s = 15$ *м* и с радиальной скоростью $w = -2$ *м / с* приближается к приемнику вдоль прямой $y = 0$. Начальное горизонтальное расстояние между источником и приемником равно $r_0 = 10$ *км*. Пеленг $\theta = 0^\circ$. Частотный диапазон $f = 100 - 140$ *Гц*. Время наблюдения $\Delta t = 180$ *с*, длительной реализаций $T = 5$ *с*, временной интервал $\delta T = 4$ *с*. Число мод $M = 3$.

Значения постоянных распространения $h_m(w_0)$ и групповых скоростей $u_m(w_0) = 1/(dh_m(w_0)/d\omega)$ мод ($\omega = 2\pi f$) для регулярного волновода глубиной $H_0 = 50$ *м* приведены в таблице.

Таблица

Постоянные распространения и групповые скорости мод на частоте $f_0 = 120$ *Гц*

Номера мод, m	**1**	**2**	**3**
h_m, *м*$^{-1}$	0.5164	0.5071	0.4908
u_m, *м / с*	1493.2968	1471.2310	1430.1374

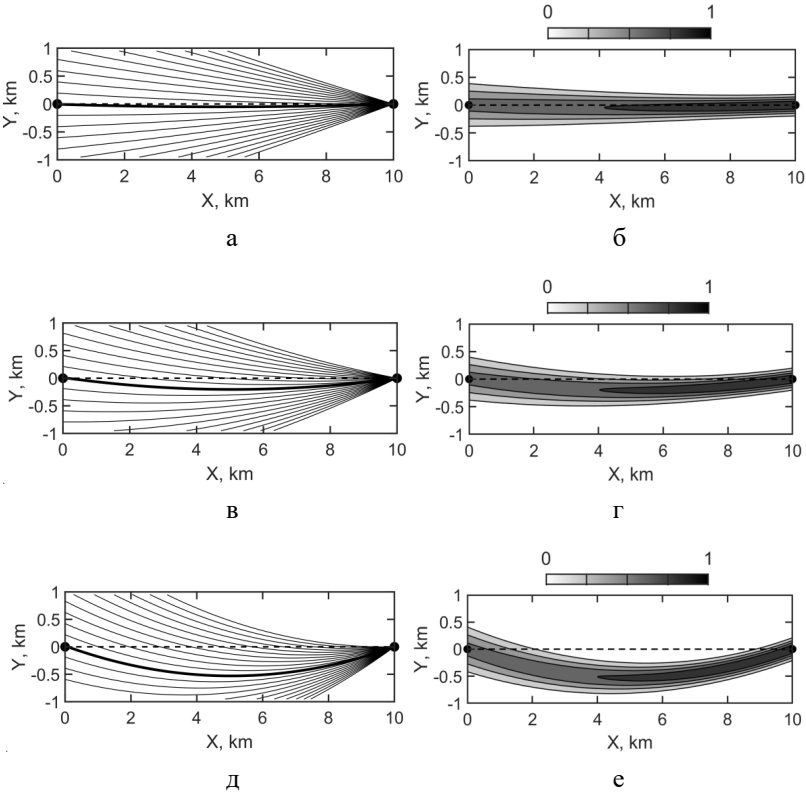


Рис. 2. Нормированная горизонтальная структура поля.

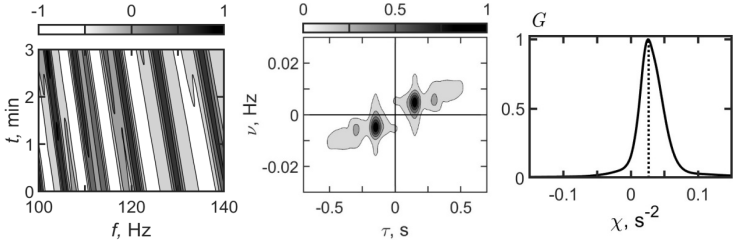


Рис. 3. Нормированные интерферограмма (а), модуль голограммы (б) и функция обнаружения (в).

Искажение звукового поля горизонтальной рефракцией волн показано на рис. 2. Слева изображены треактории горизонтальных лучей, справа – распределения амплитуды моды. (а, б) – первая мода, (а, б) – вторая мода, (д, е) – третья мода. Точками обозначены источник и приемник. Можно заметить, что по отношению к модовой структуре звукового поля проявление горизонтальной рефракции носит селективный характер: с увеличением номера моды горизонтальная рефракция проявляется сильнее. Эта особенность связана с уменьшением постоянной распространения при увеличении номера моды.

Результаты голографической обработки по звуковому каналу ВСП приведены на рис. 3. Координаты пика первого фокального пятна $\tau_1 = 0.15\ c$, $\nu_1 = 3.6364 \cdot 10^{-3}\ Гц$. Согласно (3) и данным таблицы восстановленные начальное расстояние и радиальная скорость шумового источника $\dot{r}_0 = 10.14\ км$ и $\dot{w} = -1.78\ м/с$. По измерениям отношения максимумов функций обнаружения горизонтальный составляющих пиков мощности (5) пеленг равен $\dot{\theta} = -1.96^\circ$. Можно увидеть, что восстановленные параметры движущегося источника достаточно близки к исходным модельным значениям.

Положение максимума функции обнаружения приходится на значение $\chi = \varepsilon = 0.025\ \ c^{-2}$.

Заключение

В рамках численного эксперимента показана устойчивость голографического метода обнаружения и локализации движущегося подводного шумового источника при нерегулярной батиметрии в форме клина, создающего горизонтальную рефракцию мод звукового поля. Восстановленные параметры: удаленность, радиальная скорость и пеленг близки к исходным модельным значениям.

Список литературы

1. Кузнецов Г.Н. Спектрограмма и локализация источника звука в мелком море / Г.Н. Кузнецов, В.М. Кузькин, С.А. Пересёлков // Акуст. журн. – 2017. – Т. 63. № 4. – С. 406–418.

2. Казначеев И.В. Интерферометрический метод обнаружения движущегося источника звука векторно-скалярным приемником / И.В. Казначеев [и др.] // Акуст. журн. – 2018. – Т. 64. № 1. – С. 33–45.

3. Kuznetsov G.N. Interferometric method for estimating the velocity of a noise sound source and the distance to it in shallow water using a vector-

scalar receiver / G.N. Kuznetsov [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2017. – Vol. 25. No. 4. – P. 299–306.

4. Беседина Т.Н. Определение глубины источника звука в мелком море на фоне интенсивного шума / Т.Н. Беседина [и др.] // Акуст. журн. – 2015. – Т. 61. № 6. – С. 718–728.

5. Kuznetsov G.N. Wave method for estimating the sound source depth in a oceanic waveguide / G.N. Kuznetsov [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2016. – Vol. 24. No. 4. – P. 310–316.

6. Kuz'kin V.M. direction finding by a vector-scalar receiver / V.M. Kuz'kin [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2018. – Vol. 26. No. 1. – P. 63–73.

7. Kuznetsov G.N. Direction finding of a noise sound source / G.N. Kuznetsov [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2019. – Vol. 27. No. 3. – P. 237−241.

8. Казначеева Е.С. Оценка дальности обнаружения малогабаритного подводного аппарата по его шумовому полю / Е.С. Казначеева [и др.] // Подводные исследования и робототехника. – 2021. – № 4 (38). – С. 88–93.

9. Kuz'kin V.M. Range of detection of underwater sound sourse / V.M. Kuz'kin [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2023. – Vol. 31. No. 5. – P. 339–345.

10. Baggeroer A.B. Matched field processing: Source localization in correlated noise as an optimum parameter estimation problem / A.B. Baggeroer, W.A. Kuperman, H. Schmidt // J. Acoust. Soc. Am. – 1998. – Vol. 83. No. 2. – P. 571–587.

11. Baggeroer A.B. Why did applications of MFP fail, or did we not understand how to apply MFP? / A.B. Baggeroer // Proc. 1st Int. Conf. and Exhibition. Underwater Acoustics Corfu Island – Greece – 2013. – P. 41–49.

12. Малышкин Г.С. Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов (Обзор) / Г.С. Малышкин, Г.Б. Сидельников // Акуст. журн. – 2014. – Т. 60. № 5. – С. 526–545.

13. Сазонтов А.Г., Согласованная пространственная обработка сигналов в подводных звуковых каналах (Обзор) / А.Г. Сазонтов А.И. Малеханов // Акуст. журн. – 2015. – Т. 61. № 2. – С. 233–253.

14. Kaznacheeva E.S., Kuznetsov G.N., Kuz'kin V.M., Lyakhov G.A., Pereselkov S.A. Measurement capability of the interferometric method of sound source localization in the absence of data on the waveguide transfer function // Phys. Wave Phenom. – 2019. – Vol. 27. No. 1. – P. 73–78.

15. Kaznacheeva E.S. Adaptive algorithms for interferometric processing / E.S. Kaznacheeva [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2020. – Vol. 28. No. 3. – P. 267−273.

16. Кузькин В.М. Адаптивный алгоритм локализации шумовых подводных источников в мелководных акваториях / В.М. Кузькин [и др.] // РЭНСИТ. – 2024. – Т. 16. № 4. – С. 533−544.

17. Kuz'kin V.M. Adaptive method for holographic processing of broadband hydroacoustic signals / V.M. Kuz'kin [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2024. – Vol. 32. No. 5. – P. 382–391.

18. Чупров С.Д. Интерференционная структура звукового поля в слоистом океане / Акустика океана. Современное состояние. – М.: Наука, – 1982. – С. 71−82.

19. Pereselkov S.A. Interferometric processing of hydroacoustic signals for the purpose of source localization / S.A. Pereselkov, V.M. Kuz'kin // J. Acoust. Soc. Am. – 2022. – Vol. 151. No. 2. – P. 666−676.

20. Kuz'kin V.M. Intense internal waves and their manifestation in interference patterns of received signals on oceanic shelf / V.M. Kuz'kin [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2018. – Vol. 26. No. 2. – P. 160–167.

21. Badiey M. Intense internal waves and their manifestation in the interference patterns of received signals on oceanic shelf. Part II / M. Badiey [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2019. – Vol. 27. No. 4. – P. 313−319.

22. Kaznacheeva E.S. Interferometric processing of hydroacoustic information in the presence of intense internal waves / E.S. Kaznacheeva, V.M. Kuz'kin, S.A. Pereselkov // Phys. Wave Phenom. – 2021. – Vol. 29. No. 3. – P. 278−284.

23. Кузькин В.М. Передача информации через случайно-неоднородную океаническую среду / В.М. Кузькин [и др.] // Фундам. прикл. гидроф. – 2021. – Т. 14. № 2. – С. 54–64.

24. Кузькин В.М. Голографическая обработка движущихся источников в мелком море при наличии интенсивных внутренних волн / В.М. Кузькин [и др.] // РЭНСИТ. – 2022. – Т. 14. № 2. – С. 197–204.

25. Кузькин В.М. Голографический метод локализации движущегося источника звука в присутствии интенсивных внутренних воле / В.М. Кузькин [и др.] // РЭНСИТ. – 2023. – Т. 15. № 3. – С. 317–326.

26. Kuz'kin V.M. Robustness of holographic processing of hydroacoustic signals in the presence of intense internal waves / V.M. Kuz'kin [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2023. – Vol. 31. No. 5. – P. 346−354.

27. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. – Л.: Гидрометеоиздат, – 1982. – 264 с.

28. Collins M.D. The adiabatic mode parabolic equation / M.D. Collins // J. Acoust. Soc. Am. – 1993. – Vol. 94. No. 4. – P. 2269−2278.

Математическая модель голографической структуры высокочастотного источника на каналах векторно-скалярного приемника в мелком море

С. А. Переселков, email: pereselkov@yandex.ru[1]
В. М. Кузькин, email: kumiov@yandex.ru[2]
Н. В. Ладыкин, email: ladykin.edu@yandex.ru[1]
И. М. Косенко, email: kosenko.edu@yandex.ru[1]

[1] Воронежский государственный университет
[2] Институт общей физики им А.М. Прохорова РАН

Аннотация. *В работе представлена математическая модель голографической структуры высокочастотного источника, формируемой с помощью векторно-скалярного приёмника в мелководной акватории. Представлены результаты теоретического анализа и численного эксперимента. Показано, что разработанный голографический подход позволяет обнаруживать источник и с высокой точностью проводить оценку его пеленга.*

Ключевые слова: *мелкое море, звуковое поле, лучевое описание, интерференция, интерференционная структура, голографическая структура, пеленг.*

Введение

Голографическая обработка сигналов (ГОС) является одним из наиболее эффективных направлений интерферометрической обработки (ИОС) [1-6] и вместе с ней предлагает альтернативу методам согласованной обработки сигналов [7-10]. ИОС основан на формировании устойчивых интерференционных структур, создаваемых звуковым полем [1, 2]. Эти структуры образуют характерные паттерны, позволяющие обнаруживать и оценивать параметры источников.

ГОС, в свою очередь, предоставляет ещё больше возможностей. Теоретические и математические основы для океанических волноводов изложены в работах [7–11]. В исследовании [9] метод ГОС был адаптирован для шумовых источников, а в [10, 11] анализировалось его применение в низкочастотных волноводах. Работы [12, 13] изучили возможности разрешения нескольких источников при использовании ГОС, а в [14–21] исследована устойчивость метода в присутствии внутренних волн. Адаптивные алгоритмы ГОС описаны в [22–24], а их применение к антенной обработке сигналов обсуждается в [24–26].

© Переселков С. А., Кузькин В. М., Ладыкин Н. В., Косенко И. М., 2025

Модовая селекция в мелководных волноводах на основе ГОС была проанализирована в исследованиях [28–30].

Большинство работ [7–29] концентрировались на методах ГОС для скалярной компоненты звукового давления в низкочастотном диапазоне. Однако в ряде задач подводной акустики требуется регистрация сигналов с помощью векторно-скалярного приёмника (ВСП) в высокочастотном диапазоне [30–34]. Это предоставляет дополнительные возможности для решения задач подводной акустики. Во-первых, высокочастотный диапазон позволяет аккумулировать больше спектральной плотности в области голограммы. Во-вторых, ВСП регистрирует гидроакустические сигналы сразу на четырёх каналах: звуковое давление и три компоненты колебательной скорости частиц среды. Цель данной работы – представить результаты теоретического анализа и численного моделирования ГОС для ВСП в высокочастотном диапазоне.

1. Моделирование голограммы высокочастотного источника на векторно-скалярных каналах приемника

Рассмотрим звуковое поле с использованием метода изображений источников [35]. Звуковой сигнал многократно отражается между двумя границами. Каждое отражение формирует изображение источника. На (рис. 1) показано схематическое представление вкладов от источника на глубине z_s и его изображений. Далее будем использовать следующие обозначения: звуковое давление поля – $P(f,t)$ и горизонтальные компонент скорости вибрации – $V_X(f,t)$, $V_Y(f,t)$, $V_Z(f,t)$.

Для интерферограмм в частотно-временных области (f,t) используем обозначения:

$$I_P(f,t) = P(f,t)P^*(f,t),\ I_R(f,t) = V_R(f,t)V_R{}^*(f,t),$$
$$I_X(f,t) = V_X(f,t)V_R{}^*(f,t),\ I_Y(f,t) = V_Y(f,t)V_R{}^*(f,t). \quad (1)$$

Здесь $I_P(f,t)$ – интерферограмма звукового давления, а остальные компоненты отвечают за горизонтальные колебательные скорости.

ГОС реализует квазикогерентное накопление спектральной плотности в частотно-временной области за счет двумерного преобразования Фурье (2D-FT). Результат интерферограммы $I(f,t)$ называется Фурье-голограммой $F(\tau,\nu)$.

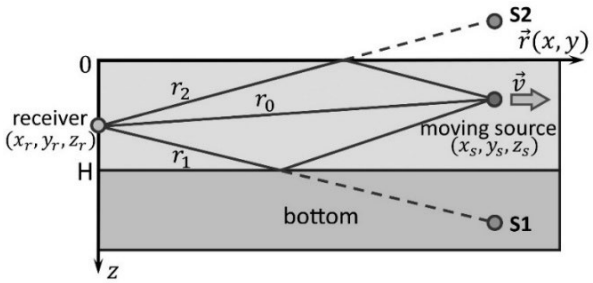


Рис. 1. Модель мелководного волновода.

Голограмма концентрирует спектральную плотность в форме фокальных пятен. Голограммы звукового давления и горизонтальных компонент колебательных скоростей определяются из интерферограмм соответственно при помощи двумерного преобразования Фурье:

$$F(\tau,\nu)=\int_0^{\Delta t}\int_{f_1}^{f_2} I(f,t)\exp[i2\pi(\nu t - f\tau)]dtdf \qquad (2)$$

Здесь, v и τ – частота и время в области голограммы. Области локализации расположены зеркально относительно начала координат [10, 11]. Фокальные пятна находятся в первой и третьей четвертях, когда источник движется к приёмнику ($v<0$). Фокальные точки находятся во второй и четвёртой четвертях, когда источник движется от приёмника ($v>0$). Спектральная плотность голограммы $F(\tau,\nu)$ концентрируется главным образом в полосе, ограниченной прямыми линиями [10, 11]:

$$\nu=\tilde{\varepsilon}\tau+\delta\nu,\quad v=\tilde{\varepsilon}\tau-\delta\nu\,, \qquad (3)$$

где $\delta v=1/\Delta t$ – полуширина фокальных точек в направлении оси v, $\tilde{\varepsilon}=-\delta f/\delta t$ – угловой коэффициент линии, на которой расположены координаты максимумов. За пределами этой полосы спектральная плотность голограммы пренебрежимо мала. δf – величина частотного смещения максмимума за время δt .

Угловые распределения спектральной плотности голограмм вычисляются следующим способом:

$$G(\chi)=\int_0^{\Delta\tau}\left|F(\tau,\chi\tau)\right|d\tau \qquad (4)$$

Здесь χ – угловой коэффициент прямых линий $v = \chi\tau$. Предположим, функция имеет максимальное значение при $\chi = \tilde{\varepsilon}$. В качестве критерия обнаружения тогда принимается условие $G(\tilde{\varepsilon}) \geq 2G(\chi)$, согласно которому значение главного максимума в два или более раз выше значений в других направлениях. Если критерий выполняется, оценки параметров движущегося источника (радиальная скорость, дальность, глубина) близки к истинным значениям [7].

Голограммы F_X и F_Y с точностью до множителей $\cos\varphi$ и $\sin\varphi$ воспроизводят голограмму F_R, так что

$$\left|\tan\varphi\right| = \frac{G_Y(\tilde{\varepsilon})}{G_X(\tilde{\varepsilon})} \tag{5}$$

Здесь φ – пеленг источника, т.е. угол в горизонтальной плоскости между осью X ВСП и направлением на источник. Оценка неоднозначна: направления $\pm\varphi$ и $\pi \pm \varphi$ неразличимы (20). Неоднозначность направления устраняется определением знака соотношения интерферограмм:

$$\frac{I_X(f,t)}{I_R(f,t)} = \gamma_X\,,\ \frac{I_Y(f,t)}{I_R(f,t)} = \gamma_Y\,. \tag{6}$$

Критерий для однозначной оценки направления следующий: если $\gamma_X > 0$, $\gamma_Y > 0$, то источник находится в 1-й четверти ВСП; если $\gamma_X < 0$, $\gamma_Y > 0$ – во 2-й; если $\gamma_X < 0$, $\gamma_Y < 0$ – в 3-й; если $\gamma_X > 0$, $\gamma_Y < 0$ – в 4-й четверти.

2. Численный эксперимент

Для численного эксперимента выбрана следующая модель мелководного волновода. Вертикальная плоскость волновода показана на рис. 2. Глубина волновода $H = 15$ *м*. Профиль скорости звука в водном слое постоянен: $c_w(z) = 1400$ *м/с*. Параметры дна – скорость звука $c_b = 1780$ *м/с*, плотность $\rho_b = 2.0$ *г/см*^{3}. Источник на глубине $z_s = 5$ *м* перемещается по траектории, показанной на рис. 3. Скорость источника $v = 1.5$ *м/с*. Диапазон частот $\Delta f = 2.5 - 11.5$ *кГц*. Приёмник находится на глубине $z_q = 15$ *м*. Время движения $\Delta t = 0 - 15$ *мин*.

Параметры (x_s, y_s, z_s, r_s) траектории источника в метрах: старт – A (150, -675, 5, 691.5); траверз – B (150, 0, 5, 150); финиш – C (150, 675, 5, 691.5).

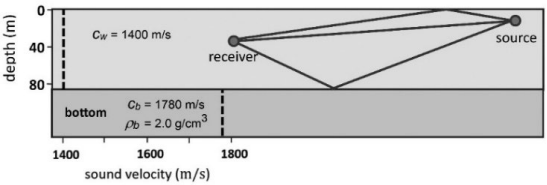


Рис. 2. Параметры эксперимента

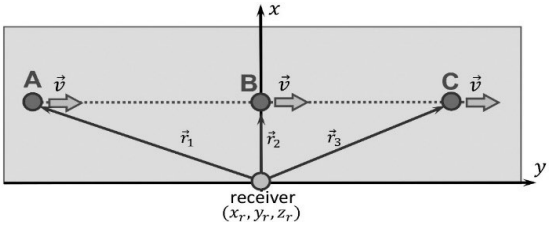


Рис. 3. Траектория источника

Результаты численного моделирования представлены на рис. 4-7. На рис. 4 показана интерферограмма звукового давления $I_P(f,t)$ для времени движения $\Delta t = 0-15$ *мин* в полосе частот $\Delta f = 2.5-11.5$ *кГц* . Как видно из рисунка, интерферограмма звукового давления имеет квази-периодическую структуру.

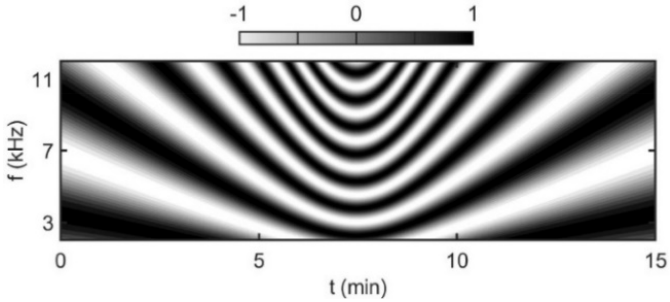


Рис. 4. Интерферограмма $I_P(f,t)$ источника

Интерферограмма, голограмма и угловое распределение для различных фаз движения источника показаны на рис. 5. Если источник перемещается из точки A в точку B, то частотный период интерферограммы уменьшается с $T_f = 9$ *кГц* до $T_f = 1.8$ *кГц*. Наклон интерференционных полос отрицательный: $\delta f / \delta t = -1.5$ *кГц / мин* (рис. 5а). В результате фокальные пятна лежат на прямой $\nu = \tilde{\varepsilon}\tau$ с угловым коэффициентом $\tilde{\varepsilon} = 40$ *Гц / с* (рис. 5б). Угловое распределение $G_P(\chi)$ имеет экстремальное значение в точке $\chi \approx -0.025$ c^{-2} (рис. 5в). Когда источник проходит через зону пересечения траверса, период интерферограммы равен $T_f = 1.8$ *кГц*. Интерференционные полосы параллельны оси t. Фокальные пятна лежат на оси времени. Угловое распределение имеет экстремум в нуле.

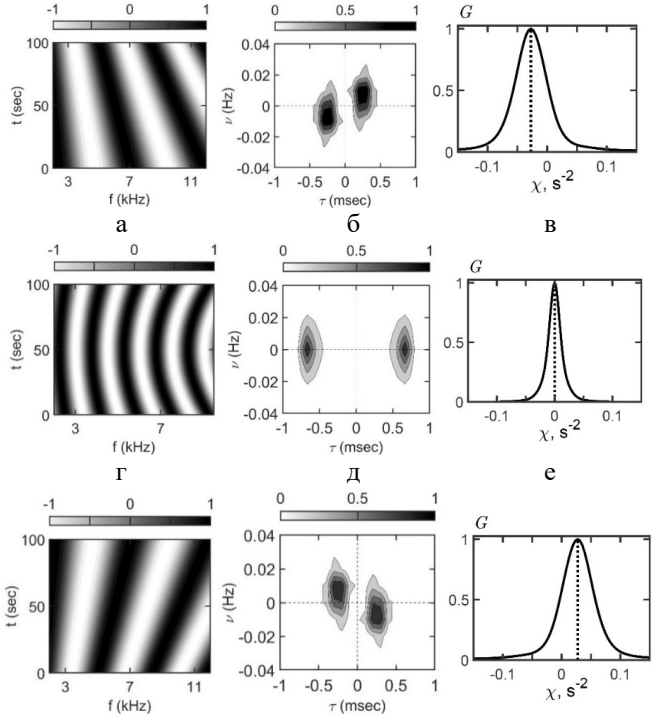


Рис. 5. Интерферограммы $I_P(f,t)$ (а, г, ж), голограммы $F_P(\tau,\nu)$ (б, д, з) и угловые распределения $G_P(\chi)$ (в, е, и)

Наконец, когда источник движется из точки B в точку C, частотный период увеличивается с $T_f = 1.8$ *кГц* до $T_f = 9$ *кГц*. Наклон интерференционных полос положительный: $\delta f / \delta t = 1.5$ *кГц / мин*. Фокальные точки находятся на прямой с угловым коэффициентом $\tilde{\varepsilon} = -40$ *Гц / с* (рис. 5з). Угловое распределение имеет максимум в точке $\chi \approx 0.025$ c^{-2} (рис. 5и).

Угловые распределения голограмм G_X и G_Y для трёх случаев движения источника показаны на рис. 6. Формы G_X и G_Y одинаковы, но экстремальные значения различны.

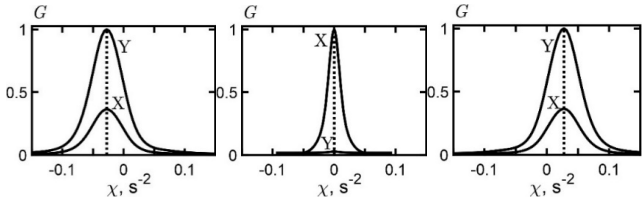


Рис. 6. Угловые распределения голограмм $G_X(\chi)$ и $G_Y(\chi)$

Временная зависимость пеленга $\varphi(t)$ для всего интервала времени представлена на рис. 7. Сплошная линия – пеленг источника, соответствующий геометрии траектории. Точки – пеленг источника, восстановленный с помощью голографической обработки сигнала. Как видно, значения пеленга источника, восстановленные в рамках численного моделирования, совпадают с модельными значениями.

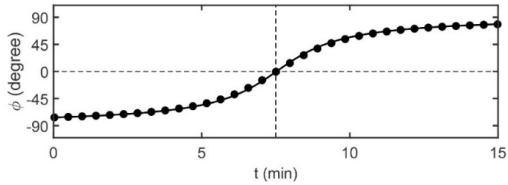


Рис. 7. Временная зависимость пеленга источника $\varphi(t)$.

Заключение

Представлены результаты численного эксперимента по оценке пеленга движущегося высокочастотного источника с помощью векторно-скалярного приемника. Изложены алгоритмы ГОС

моделирования интерферограмм, голограмм и угловых распределений. Показано, что голографическая обработка позволяет обнаруживать источник и оценивать его пеленг.

Список литературы

1. Чупров С.Д. Интерференционная структура звукового поля в слоистом океане. Акустика океана. Современное состояние / Чупров С.Д. – Москва, Наука, 1982. – 71-91 с.
2. Weston D., Interference of wide-band sound in shallow water / Weston D., Stevens K. / J. Sound Vibr. – 1972. – Vol. 21, № 2. – P. 57-64.
3. Грачев Г. Теория инвариантов акустического поля в слоистых волноводах / Грачев Г. // Акуст. физ. – 1993. – Т. 39, № 1. – С. 67-71.
4. Орлов Е.Ф. Интерференция звуковых волн в океане / Орлов Е.Ф., Шаронов Г.А. // Дальнаука, –1998. – 196 с.
5. Ianniello J. Recent developments in sonar signal processing / Ianniello J. // IEEE Signal Proc. Mag. – 1998. – Vol. 15, № 1. – P. 27-40.
6. Kuperman W.A. Ocean acoustic interference phenomena and signal processing / Kuperman W.A., D'Spain G.L. // Ocean Acoustic Interference Phenomena and Signal Processing 621. – 2002.
7. Кузькин В.М. Спектрограмма и локализация источника звука в мелководном море / Кузькин В.М., Переселков С.А., Кузнецов Г.Н. // Акустический журнал. – 2017. – Т. 63, № 4. – С. 406-418.
8. Кузькин В.М. Обнаружение источника в диспергирующих средах / Кузькин В.М., Переселков С.А., Матвиенко Ю.В., Ткаченко С.А. // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 337-344.
9. Kuz'kin V.M. Noise source detection in an oceanic waveguide using interferometric processing / Kuz'kin V.M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2020. – Vol. 28, № 1. – P. 68-74.
10. Pereselkov S.A. Interferometric processing of hydroacoustic signals for the purpose of source localization/ Pereselkov S., Kuz'kin V. // Acoust. Soc. Am. – 2022, – Vol. 151 – P. 666-676.
11. Ehrhardt M. Experimental observation and theoretical analysis of the low-frequency source interferogram and hologram in shallow water / Ehrhardt M., [et al.] / J. Sound Vibr. – 2023, – 544 – C. 117388.
12. Kuz'kin V.M. Resolving power of the interferometric method of source localization / Kuz'kin V.M., [et al.] / Phys. Wave Phenom. – 2018, – Vol. 26, № 2. – P. 150-159.
13. Кузькин В.М. Разрешение шумовых сигналов при наличии случайных неоднородностей океанической среды / Кузькин В.М., [и др.] // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2024. – Т.16, № 3 – С. 395-406.

14. Kuz'kin V.M. Intense internal waves and their manifestation in interference patterns of received signals on oceanic shelf / Kuz'kin V.M., [et al.] // Physics of Wave Phenomena. – 2018. – Vol. 26, № 2. – P. 160-167.

15. Badiey M. Intense internal waves and their manifestation in the interference patterns of received signals on oceanic shelf. Part II / Badiey M., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2019. – Vol. 27, № 4. – P. 313-319.

16. Kaznacheeva E.S. Interferometric processing of hydroacoustic information in the presence of intense internal waves / Kaznacheeva E.S., Kuz'kin V.M., Pereselkov S.A. // Physics of Wave Phenomena. – 2021. – Vol. 29, № 3. – P. 278-284.

17. Kuz'kin V.M. Robustness of holographic processing of hydroacoustic signals in the presence of intense internal waves / Kuz'kin V.M., [et al.] // Physics of Wave Phenomen. – 2023. – Vol. 31, № 5. – P. 346-354.

18. Badiey M. Interferometry of hydrodynamics of oceanic shelf caused by intensive internal waves / Badiey M., Kuz'kin V.M., Pereselkov S.A. // Fundam. Appl. Hydrophys. – 2020. – Vol. 1 P. 45-55.

19. Кузькин В.М. Голографическая обработка движущихся источников в мелком море при наличии интенсивных внутренних волн / Кузькин В.М., [и др.] // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2022. – Т.14, № 2 – С. 197-204.

20. Кузькин В.М. Голографический метод локализации движущегося источника звука в присутствии интенсивных внутренних волн / Кузькин В.М., [и др.] // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2023. – Т.15, № 3 – С. 317-326.

21. Pereselkov S. Three-dimensional modeling of sound field holograms of a moving source in the presence of internal waves causing horizontal refraction / Pereselkov S., [et al.] // J. Mar. Sci. Eng. – 2023. – Vol. 11 – P.1922.

22. Кузькин В.М. Интерферометрическая обработка с использованием вертикальной линейной антенны / Кузькин В.М., [и др.] // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. – 2020. – № 2 – С. 14-23.

23. Кузькин В.М. Реализация адаптивного интерферометрического метода локализации источника звука. II часть / Кузькин В.М., [и др.] // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. – 2020. – № 1 – С. 14-23.

24. Pereselkov. Adaptive Algorithms for Interferometric Processing / Pereselkov S., [et al.] // Phys. Wave Phenom. – 2020. – № 28 – С. 267-273.

25. Кузькин В.М. Интерферометрическая обработка акустической информации с использованием протяженных антенн в диспергирующих

средах / Кузькин В.М., [и др.] // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2020. – Т.12, № 4 – С. 483-494.

26. Кузькин В.М. Обнаружение шумового сигнала в океаническом волноводе горизонтальной антенной / Кузькин В.М., [и др.] // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2022. – Т.14, № 1 – С. 65-72.

27. Kuz'kin V.M. Mode selection in oceanic waveguides / Kuz'kin V.M., [et al.] // Physics of Wave Phenomena. – 2022 – Vol. 30, № 2. – P. 111-118.

28. Kuz'kin V.M. Holographic method for mode selection in a shallow sea in the presence of intense internal waves / Kuz'kin V.M., [et al.] // Physics of Wave Phenomena. – 2022 – Vol. 30, № 5. – P. 314-320.

29. Кузькин В.М. Выделение мод шумового источника в мелком море методом голографической интерферометрии в присутствии интенсивных внутренних волн / Кузькин В.М., [и др.] // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2022. – Т.14, № 3 – С. 279-286.

30. Казначеев И.В. Интерферометрический метод обнаружения движущегося источника звука векторно-скалярным приемником / Казначеев И.В., [и др.] // Акуст. журн. – 2018. – Т.64, № 1 – С. 33-45.

31. Kuznetsov G.N. Interferometric method for estimating the velocity of a noise sound source and the distance to it in shallow water using a vector-scalar receiver / Kuznetsov G.N., [et al.]. // Phys. Wave Phenom. – 2017 – Vol. 25, № 4. – P. 299-306.

32. Kuz'kin V.M. Interferometric direction finding by a vector-scalar receiver / Kuz'kin V.M., [et al.] // Physics of Wave Phenomena. – 2018 – Vol. 26, № 1. – P. 63-73.

33. Переселков С.А. Интерференционный метод оценки координат движущегося шумового источника в мелком море с использованием высокочастотных сигналов / Переселков С.А., [и др.] // Акустический журнал. – 2020. – Т.66, № 4 – С. 437-445.

34. Кузнецов Г.Н. Интерференционная структура шумового поля движущегося источника в высокочастотном диапазоне / Кузнецов Г.Н., [и др.] // Известия РАН. Серия физическая. – 2021. – Т.85, № 6 – С. 907-912.

35. Brekhovskikh, L.M. Fundamentals of Ocean Acoustics / Brekhovskikh, L.M.; Lysanov, Y.P. // Springer Berlin/Heidelberg, Germany. – 2013.

36. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике / Гордиенко В.А. // – Москва, Физматлит. – 2007 – 480 с.

О подходах к построению неявных конечно-разностных схем в задаче об изгибе прямоугольной пластины

М. И. Попов, e-mail: mihail_semilov@mail.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В настоящей работе рассматриваются подходы к построению неявных схем в задаче об изгибе прямоугольной пластины, защемленной по контуру. Первый основан на аппроксимации производных бигармонического центрально-разностными операторами. Во втором используется понижение порядка уравнения. С помощью введения новой переменной бигармоническое уравнение разбивается на систему двух уравнений Пуассона. Производные в каждом из уравнений также аппроксимируются центрально-разностными операторами. В рамках обоих подходов построены схемы 2 и 4 порядка точности. На тестовых примерах сравниваются абсолютные погрешности обеих схем, а также время расчета и затраты оперативной памяти компьютера.*

Ключевые слова: *изгиб пластины, бигармоническое уравнение, уравнение Пуассона, конечно-разностная схема, аппроксимация производной*

Введение

Бигармоническое уравнение применяется в теории упругости в задачах об изгибе пластин, а также при моделировании свободной конвекции [1]. Существуют различные способы построения конечно-разностных схем для численного интегрирования бигармонического уравнения. В явных конечно-разностных схемах решение вычисляется итерационно [2]. Каждая новая итерация рассчитывается с использованием предыдущих шагов. Данный подход прост в реализации и не требует решения алгебраических уравнений. Однако для достижения высокой точности требуется очень большое число итераций, т.е. расчет займет много времени. Так же в ряде случаев нужно дополнительно решать вопрос устойчивости конечно-разностной схемы. В этом смысле удобнее использовать неявные схемы, поскольку они являются абсолютно устойчивыми. Так как неявные схемы не вычисляют решение на каждой итерации, время расчета при их использовании существенно сокращается. К минусам неявных схем следует отнести необходимость решения систем алгебраических

© Попов М. И., 2023

уравнений. Те не менее для линейных дифференциальных уравнений это не вызывает значительных трудностей. Бигармоническое уравнение линейно, поэтому для его численного интегрирования целесообразно применять неявные схемы [3].

1. Постановка задачи

Рассмотрим тонкую жесткую прямоугольную пластину. На каждой границе пластина защемлена, а во внутренних точках действует сила $q(x,y)$ (рис. 1). Прогиб пластины $w(x,y)$ в данных условиях, как известно, описывается уравнением Софи-Жермен. Таким образом, получаем следующую краевую задачу в области $\Omega = [0;a]\times[0;b]$ [4]:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^2} = \frac{q(x,y)}{D}. \tag{1}$$

$$w(0,y) = w(a,y) = w(x,0) = w(x,b) = 0, \tag{2}$$

$$\frac{\partial w(0,y)}{\partial x} = \frac{\partial w(a,y)}{\partial x} = \frac{\partial w(x,0)}{\partial y} = \frac{\partial w(x,b)}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

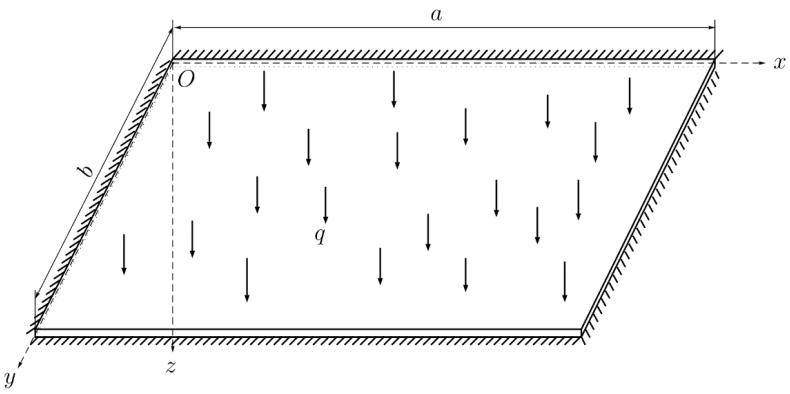


Рис. 1. Изгибаемая пластина.

Уравнение (1) содержит 3 производные 4 порядка. Для обеспечения 2 порядка точности, четвертые производные по x и y необходимо аппроксимировать, используя как минимум 5 точечный шаблон, смешанную производную – 9 точечный. Это несколько усложняет конечно-разностную схему, так как приходится решать систему линейных уравнений с более плотной матрицей. Для упрощения схемы понизим порядок уравнения. Представим уравнение (1) в виде:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)=\frac{q}{D}. \qquad (4)$$

Определим приведенный момент M [5]:

$$M=\frac{M_x+M_y}{1+\nu}=-D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right),$$

где M_x, M_y – изгибающие моменты.

Подставив приведенный момент в уравнение (4), получим:

$$\frac{\partial^2 M}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 M}{\partial y^2}=-q.$$

Таким образом, уравнение (1) эквивалентно системе 2 уравнений Пуассона:

$$\begin{cases}\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2 w}{\partial y^2}=-\dfrac{M}{D},\\ \dfrac{\partial^2 M}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2 M}{\partial y^2}=-q.\end{cases} \qquad (5)$$

2. Разностные схемы для бигармонического уравнения

Составим конечно-разностную схему 2 порядка точности для краевой задачи (1) – (3). Для этого непрерывную область Ω, заменим сеткой с шагами Δx, Δy, $\Omega_{\Delta x,\Delta y}=\left\{\left(x_i,y_j\right)=\left(i\Delta x, j\Delta y\right)\right\}$, $i=0,..,n$, $j=0,..,m$. Частную производную четвертого порядка $\partial^4 w/\partial x^4$ аппроксимируем центральной разностью построенной в узлах $w_{i+2,j}, w_{i+1,j}$, $w_{i,j}, w_{i-1,j}, w_{i-2,j}$ [6]:

$$\left.\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}\right|_{i,j}=\frac{w_{i+2,j}-w_{i+1,j}+6w_{i,j}-4w_{i-1,j}+w_{i-2,j}}{\Delta x^4}+O\left(\Delta x^2\right)$$

Аналогично получим разностное выражение для $\partial^4 w/\partial y^4$:

$$\left.\frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right|_{i,j}=\frac{w_{i,j+2}-w_{i,j+1}+6w_{i,j}-4w_{i,j-1}+w_{i,j-2}}{\Delta y^4}+O\left(\Delta y^2\right)$$

Применив центрально-разностный оператор дважды по соответствующим переменным, составим разностное выражение для смешанной производной:

$$\left.\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2}\right|_{i,j} = \frac{1}{\Delta x^2 \Delta y^2}\Big(w_{i+1,j+1} - 2w_{i+1,j} + w_{i+1,j-1} - 2w_{i,j+1} + 4w_{i,j} -$$

$$-2w_{i,j-1} + w_{i-1,j+1} - 2w_{i-1,j} + w_{i-1,j-1}\Big) + O\left(\Delta x^2, \Delta y^2\right)$$

Подставив в уравнение (1) аппроксимации производных и отбросив слагаемые второго порядка малости, получим разностное уравнение:

$$\frac{w_{i+2,j} - 4w_{i+1,j} + 6w_{i,j} - 4w_{i-1,j} + w_{i-2,j}}{\Delta x^4} + \frac{2}{\Delta x^2 \Delta y^2}\Big(w_{i+1,j+1} - 2w_{i\cdot}$$

$$+w_{i+1,j-1} - 2w_{i,j+1} + 4w_{i,j} - 2w_{i,j-1} + w_{i-1,j+1} - 2w_{i-1,j} + w_{i-1,j-1} \quad (6)$$

$$+\frac{w_{i,j+2} - 4w_{i,j+1} + 6w_{i,j} - 4w_{i,j-1} + w_{i,j-2}}{\Delta y^4} = \frac{q_{i,j}}{D}$$

Граничные условия отсутствия прогибов на границе (2), накладываемые на искомую функцию приобретут вид:

$$w_{0,j} = w_{n,j} = w_{i,0} = w_{i,m} = 0 \quad (7)$$

Граничное условие (3) аппроксимируем левосторонней и правосторонней разностями второго порядка [7]:

$$\frac{-3w_{0,j} + 4w_{1,j} - w_{2,j}}{2\Delta x} = \frac{3w_{n,j} - 4w_{n-1,j} + w_{n-2,j}}{2\Delta x} =$$

$$= \frac{-3w_{i,0} + 4w_{i,1} - w_{i,2}}{2\Delta y} = \frac{3w_{i,m} - 4w_{i,m-1} + w_{i,m-2}}{2\Delta y} = 0.$$

Откуда

$$w_{i,2} = 4w_{i,1},\ w_{i,m-2} = 4w_{i,m-1},\ w_{2,j} = 4w_{1,j},\ w_{n-2,j} = 4w_{n-1,j}. \quad (8)$$

Таким образом, непрерывная краевая задача (1) – (3) свелась к конечно-разностной схеме (6) – (8). Для удобства назовем ее схема 1. Поскольку построенная схема имеет неявный характер, не требуется доказательства ее устойчивости. Она будет сходиться к точному решению задачи с уменьшением шагов по пространственным переменным.

Схему 4 порядка точности составим аналогично, применяя центрально-разностные операторы во всех внутренних узлах кроме приграничных. Разностные выражения получим с помощью интерполяционного многочлена Лагранжа [7]. Конечно-разностный аналог частной производной четвертого порядка $\partial^4 w / \partial x^4$ будет иметь вид:

$$\left.\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}\right|_{i,j} = \frac{1}{6\Delta x^4}(-w_{i+3,j} + 12w_{i+2,j} - 39w_{i+1,j} + 56w_{i,j} -$$

$$-39w_{i-1,j} + 12w_{i-2,j} - w_{i-3,j}) + O\left(\Delta x^4\right)$$

Аналогичный вид имеет разностное выражение производной $\partial^4 w / \partial y^4$. Ввиду громоздкости формул, смешанную производную мы выписывать не будем.

В приграничных узлах заменим центральные разности таким образом, чтобы узлы, входящие в разностные отношения, не выходили за границу области решения задачи.

3. Разностная схема для системы уравнений с приведенным моментом

Для краевой задачи (5), (2), (3) также составим конечно-разностную схему 2 порядка точности. Аппроксимацию вторых производных прогиба и приведенного момента получим, применив центральные разности второго порядка:

$$\left.\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right|_{i,j} = \frac{w_{i+1,j} - 2w_{i,j} + w_{i-1,j}}{\Delta x^2} + O\left(\Delta x^2\right),$$

$$\left.\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right|_{i,j} = \frac{w_{i,j+1} - 2w_{i,j} + w_{i,j-1}}{\Delta y^2} + O\left(\Delta y^2\right),$$

$$\left.\frac{\partial^2 M}{\partial x^2}\right|_{i,j} = \frac{M_{i+1,j} - 2M_{i,j} + M_{i-1,j}}{\Delta x^2} + O\left(\Delta x^2\right),$$

$$\left.\frac{\partial^2 M}{\partial y^2}\right|_{i,j} = \frac{M_{i,j+1} - 2M_{i,j} + M_{i,j-1}}{\Delta y^2} + O\left(\Delta y^2\right).$$

Подставив эти выражения в систему (5) и отбросив слагаемые второго порядка малости, получим систему разностных уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{w_{i+1,j}-2w_{i,j}+w_{i-1,j}}{\Delta x^2}+\dfrac{w_{i,j+1}-2w_{i,j}+w_{i,j-1}}{\Delta y^2}=-\dfrac{M_{i.j}}{D}, \\ \dfrac{M_{i+1,j}-2M_{i,j}+M_{i-1,j}}{\Delta x^2}+\dfrac{M_{i,j+1}-2M_{i,j}+M_{i,j-1}}{\Delta y^2}=-q_{i,j}. \end{cases} \quad (9)$$

Граничные условия на прогибы выражаются равенствами (7) и (8). Граничные условия на приведенный момент отсутствуют, что компенсируется двумя граничными условиями на прогибы пластины. Схему (9), (8), (7) для удобства назовем схемой 2.

Применяя центральные разности для вторых производных во всех внутренних узлах, кроме приграничных, построим схему 4 порядка точности. Производные в приграничных точках аппроксимируем, используя узлы, не выходящие за границу прямоугольника.

4. Расчет тестовых примеров

Для сравнения разностных схем проведем численные эксперименты. Для простоты рассмотрим безразмерную квадратную пластину. В области $\Omega=[0;1]\times[0;1]$ введем равномерную сетку с шагами $\Delta x=\Delta y=h$.

Рассмотрим сначала схемы 2 порядка точности. На рис. 2 изображены расчетные шаблоны для схем 1 и 2. Желтые круги – узлы разностного уравнения. Розовые – узлы граничного условия равенства нулю производных. Цифры внутри кругов – весовые коэффициенты.

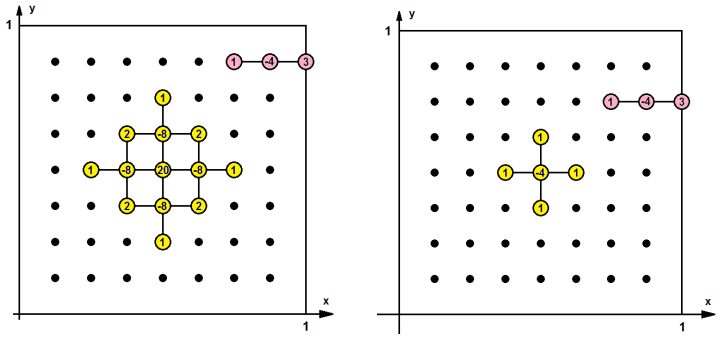


Рис. 2. Расчетные шаблоны: слева для схемы 1, справа для схемы 2.

В схемах второго порядка в качестве тестовой функции для прогибов рассмотрим полиномиальную функцию

$w(x,y) = 8x^2(1-x)^2 y^2(1-y)^2$. Непосредственной проверкой подтверждается выполнение граничных условий (2) и (3). Используя данную функцию в качестве прогибов пластину можно считать тонкой и жесткой. Данная функция имеет единственный максимум в центре квадрата.

Сравним максимальные абсолютные и относительные погрешности полученных разностных схем. Максимальная абсолютная погрешность достигается в центре, а максимальная относительная – в углах квадрата. В табл. 1 приведены максимальные абсолютные и относительные погрешности обеих схем для различных значений шага сетки.

Таблица 1

Максимальные абсолютные и относительные погрешности разностных схем 2 порядка

Шаг сетки	Максимальная абсолютная погрешность		Максимальная относительная погрешность	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
1/10	3,03e-3	3,03e-3	0,527	0,527
1/20	7,77e-4	7,77e-4	0,32	0,32
1/30	3,51e-4	3,51e-4	0,232	0,232
1/40	1,99e-4	1,99e-4	0,182	0,182
1/50	1,28e-4	1,28e-4	0,15	0,15
1/60	9,95e-5	9,95e-5	0,127	0,127
1/70	6,6e-5	6,6e-5	0,111	0,111
1/80	5,06e-5	5,06e-5	0,098	0,098

Для выявления более эффективного подхода сравним время расчета и потребление оперативной памяти для рассматриваемых схем. В табл. 2 приведены время расчета и объем задействованной оперативной памяти для различных значений шага сетки.

Таблица 2

Время расчета и потребление оперативной памяти разностных схем 2 порядка

Шаг сетки	Время вычисления, с		Память, мб	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
1/10	1	1	37	38
1/20	3	8	41	61
1/30	16	45	45	68
1/40	59	161	51	80

1/50	185	411	73	101
1/60	368	974	77	125
1/70	867	2091	85	155
1/80	1577	3804	99	188

Согласно табл. 1 обе схемы имеют одинаковые максимальные абсолютную и относительную погрешность. Однако время расчета и объем задействованной оперативной памяти, представленные в табл. 2, отличаются. Схема 1 в 2,5 раза быстрее и потребляет в 2 раза меньше памяти в сравнении со схемой 2. Максимальная относительная погрешность составляет всего лишь 0,1% при значении шага сетки 1/80. Столь малая погрешность свидетельствует об эффективности применяемых для решения задачи конечно-разностных схем.

Теперь рассмотрим схемы 4 порядка с тестовой функцией прогибов $w(x,y)=\frac{1}{32}\sin^2(\pi x)\sin^2(\pi y)$. Нетрудно увидеть, что она удовлетворяют граничным условиям, а также условиям, при которых пластину можно считать тонкой и жесткой. Данная функция также имеет единственный максимум в центре квадрата.

В табл. 3 приведены максимальные абсолютные и относительные погрешности обеих схем для различных значений шага сетки.

Таблица 3

Максимальные абсолютные и относительные погрешности разностных схем 4 порядка

Шаг сетки	Максимальная абсолютная погрешность		Максимальная относительная погрешность	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
1/10	5,11e-4	5e-4	0,122	0,123
1/20	2,71e-5	1,65e-5	1,29e-2	9,42e-3
1/30	4,13e-6	2,49e-6	2,77e-3	1,93e-3
1/40	1,11e-6	6,82e-7	8,95e-4	6,17e-4
1/50	4,04e-7	2,55e-7	3,68e-4	2,53e-4
1/60	1,79e-7	1,56e-7	1,77e-4	1,22e-4
1/70	9,08e-8	8,82e-8	9,49e-5	6,54e-5

По табл.3 видно, что схема с расщеплением показывает немного лучшие результаты. Однако, при уменьшении сеточного шага максимальные абсолютные погрешности выравниваются. Относительная же погрешность 2 схемы стабильно в 1,5 раза меньше. Максимальная относительная погрешность менее 0,0001% при значении

шага сетки 1/70. Посмотрим на время расчета. В табл. 4 приведены время расчета и объем задействованной оперативной памяти для различных значений шага сетки.

Таблица 4

Время расчета и потребление оперативной памяти разностных схем 4 порядка

Шаг сетки	Время вычисления, с		Память, мб	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
1/10	3	4	37	45
1/20	8	27	44	65
1/30	39	150	63	98
1/40	151	669	68	114
1/50	412	1734	98	258
1/60	1064	3910	130	332
1/70	2163	8321	146	381

Согласно табл. 4 схема 1 в 4 раза быстрее и потребляет в 2,5 раза меньше оперативной памяти. В связи с этим, несмотря на незначительно меньшую погрешность 2 схемы, более эффективной является схема 1 без расщепления.

Заключение

В тестовых расчетах оба подхода показали приблизительно одинаковые погрешности вычисления. Размерность системы линейных уравнений в схеме с понижением порядка в 2 раза больше, но матрица системы более разряжена. Несмотря на разряженность, удвоенная размерность увеличивает время расчета в 2,5 раза для 2 порядка погрешности и в 4 раза для 4 порядка. Поэтому в прямоугольных областях предпочтительно использовать подход, основанный на аппроксимации производных бигармонического уравнения. Относительная погрешность вычисления менее 0,1% для схем 2 и менее 0,0001% для схем 4 порядка, при этом время расчета отличается менее чем в 2 раза. Таким образом, для достаточно гладких функций схема 4 порядка эффективнее. Учитывая очень малую погрешность, небольшое время расчетов, а также низкие затраты памяти, рассмотренные подходы можно успешно использовать для решения задач об изгибе пластин.

Список литературы

1. Попов, М. И. Приближенное аналитическое решение внутренней задачи кондуктивно-ламинарной свободной конвекции / М. И. Попов, Е. А. Соболева // Вестник Воронежского государственного

университета инженерных технологий. – 2016. – № 4(70). – С. 78-84. – DOI 10.20914/2310-1202-2016-4-78-84. – EDN XWESHF.

2. Ряжских, В. И. Численное интегрирование бигармонического уравнения в квадратной области / В. И. Ряжских, М. И. Слюсарев, М. И. Попов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2013. – № 1. – С. 52-62. – EDN OIDGRK.

3. Попов, М. И. Интегрирование бигармонического уравнения по неявной схеме / М. И. Попов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, № 2(76). – С. 114-118. – DOI 10.20914/2310-1202-2018-2-114-118. – EDN YBECBV.

4. Ермоленко, А. В. К решению неоднородного бигармонического уравнения / А. В. Ермоленко, Н. В. Кожагельдиев // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1: Математика. Механика. Информатика. – 2022. – № 3(44). – С. 64-78. – DOI 10.34130/1992-2752_2022_3_64. – EDN LUGCEY.

5. Монахов В. А. Теория пластин и оболочек: учеб. пособие по направлению подготовки 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» / В. А. Монахов. – Пенза : ПГУАС, 2016. – 252 с.

6. Андерсон Д. Вычислительная механика и теплообмен / Д. Андерсон, Дж. Танехилл, Р. Плетчер. – В 2-ч т. Т. 1. – М. : Мир, 1990. – 384 с.

7. Куксенко С. П. Электромагнитная совместимость: численные методы решения задач электростатики: учеб. пособие для студентов техн. направлений подготовки / С. П. Куксенко. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 268 с.

Проблемные вопросы функционирования и оценки эффективности методического и алгоритмического обеспечения системы поддержки принятия решений автоматизированной системы управления специального назначения

А. Н. Потапов, email: potapov_il @mail.ru [1]
В. А. Кузнецов [2]
А. В. Бунин [3]

[1] Воронежский государственный лесотехнический университет
[2] ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
[3] Московский государственный технический университет гражданской авиации

Аннотация. *Рассмотрены проблемные вопросы функционирования и оценки эффективности методического и алгоритмического обеспечения системы поддержки принятия решений автоматизированной системы управления специального назначения.*

Ключевые слова: *информация, система управления, потребители, воздушная обстановка, система поддержки принятия решений*

Введение

Для реализации процедуры обнаружения информационной перегрузки системы необходимо определить признаки, по которым ее можно идентифицировать в системе и критерии включения алгоритма агрегирования. Признаками, с использованием которых идентифицируется перегрузка системы, являются количество данных о воздушной обстановке (отметок от воздушных объектов) и качество информации [1]. При достижении количества отметок от воздушных объектов, величины соизмеримой или превышающей производительность каналов и потребителя, возникает ситуация информационной перегрузки, увеличиваются задержки информации, снижается ее качество (точность и достоверность). Качество информации существенным образом ухудшается и в условиях плотных боевых порядков, когда расстояния между объектами в группе соизмеримо и меньше размеров стробов, используемых при обработке (вторичной и третичной). При этом в один строб попадает несколько

© Потапов А. Н., Кузнецов В. А., Бунин А. В., 2025

отметок от воздушных объектов и происходит формирование большого количества ложных траекторий, создающее предпосылки для информационной перегрузки.

Вследствие этого для устранения информационной перегрузки при оценке состояния воздушных и космических радиотехнических объектов управления для принятия решения используются алгоритмы классификации объектов, реализованные в виде экспертной системы поддержки принятия решений (СППР), интегрированной в состав автоматизированной системы управления (АСУ) специального назначения. Поэтому актуальным является оценка методического и алгоритмического обеспечения системы поддержки принятия решений (СППР), интегрированной в состав автоматизированной системы управления (АСУ) специального назначения в условиях информационной перегрузки.

1. Оценка алгоритмического обеспечения экспертной системы поддержки принятия решений автоматизированной системы управления специального назначения

В качестве основных задач по оценке методического и алгоритмического обеспечения СППР АСУ специального назначения, были выделены следующие:

– исследование эффективности алгоритма предварительного анализа входных данных;

– оценка эффективности применения списочного алгоритма представления классификационной матрицы;

– оценка влияния сокращения классификационной матрицы на решение задачи классификации;

– проверка работоспособности алгоритма анализа информации о новых объектах;

– оценка вычислительной трудоемкости методического обеспечения функционирования СППР АСУ специального назначения.

На практике решение задач классификации объектов проходит в условиях различного рода ограничений в представлении исходных данных, требований к алгоритмической реализации функциональных возможностей и вычислительным средствам. Одним из видов ограничений представления исходных данных является сложность определения классов объектов. Неопределенность также может заключаться в отсутствии информации о количестве объектов, подлежащих классификации [2].

В ходе исследований по оценке эффективности алгоритмического обеспечения экспертной СППР АСУ специального назначения, использованы искусственная генерация входных данных, а так же

данные, представляющие собой совокупность всех возможных значений на основе полного перебора. Для генерации исходных данных, были разработаны программы-генераторы случайных объектов и случайных областей. Интерфейсы данных программ приведены на рис. 1 и 2 [3].

Программа-генератор случайных объектов позволяет сгенерировать определенное количество объектов классификации (поле «Количество объектов»), каждый из которых обладает четырьмя параметрами *X*, *Y*, *K*, *Z*. Каждый параметр генерируется случайным образом в заданном диапазоне значений.

Набор из заранее указанного количества сгенерированных объектов записывается в файл в формате, совместимом с форматом файлов объектов, применяемых программной реализации комбинированного метода. В поле «Количество файлов» можно задать необходимое количество реализаций случайно сгенерированных объектов. Программа-генератор случайных объектов присваивает файлу имя в формате HHH.pnt, где HHH – номер реализации.

Программа-генератор случайных областей позволяет сгенерировать определенное количество областей (поле «Количество областей»), каждая из которых характеризуется значением четырех параметров *X*, *Y*, *K*, *Z*, являющимися центром области и четырех значений *dX*, *dY*, *dK*, *dZ*, определяющими размер области. Каждый параметр генерируется случайным образом в заданном диапазоне значений.

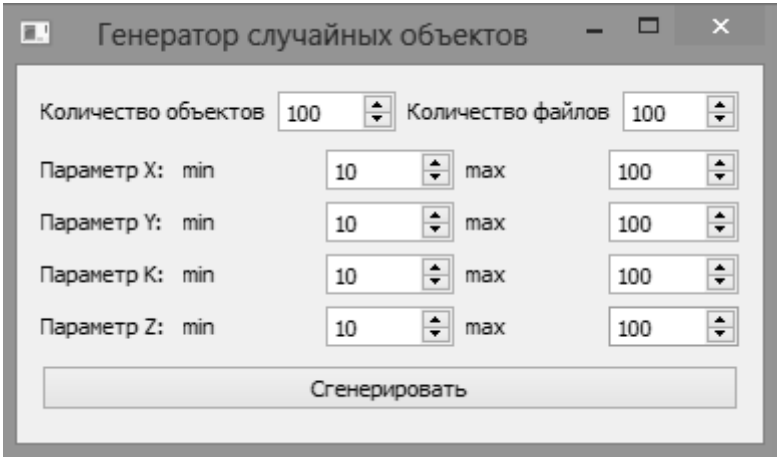


Рис. 1. Окно отображения программы-генератора случайных объектов

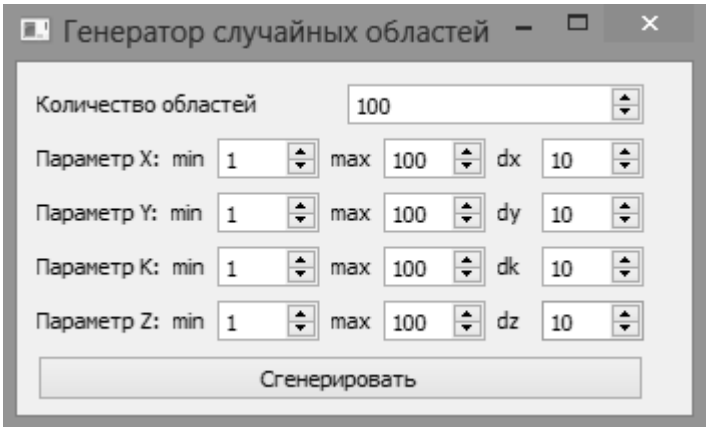


Рис. 2. Окно отображения программы-генератора случайных областей

В полях «*dx*», «*dy*», «*dk*», «*dz*» указываются максимально возможные значения размеров области. Таким образом, изменяя параметры минимально и максимально возможных значений параметров областей, а также их размеров, можно варьировать количество пересечений генерируемых областей. Набор из заранее указанного количества сгенерированных областей записывается в файл в формате, совместимом с форматом файлов областей, применяемых программной реализации комбинированного метода. Программа-генератор случайных областей при записи данных в файл производит подсчет количества пересечений и присваивает создаваемому файлу имя в формате HHH.rgn, где HHH – количество пересечений областей в файле. За одну генерацию программа может создать до ста файлов областей.

2. Исследование эффективности алгоритма предварительного анализа входных данных.

Целью оценки эффективности алгоритма предварительного анализа входных данных является оценка зависимости количества операций сравнения от количества пересечений областей каталога эталонных значений при формировании классификационной матрицы. Стоит отметить, что базовый метод при построении классификационной матрицы, для создания классификационного образа объекта, производит сравнение параметров анализируемого объекта с параметрами каждого класса, занесенного в каталог методом последовательного перебора [4]. Следовательно, при таком анализе количество операций сравнения будет

постоянным и равным произведению количества объектов, участвующих в эксперименте, на количество классов в каталоге эталонных значений. При подходе, использующем анализ взаимного расположения областей в параметрическом пространстве, представляющих собой каталог эталонных значений, нет необходимости сравнивать параметры объекта с параметрами всех классов из каталога. Достаточно найти первое вхождение в область и далее рассмотреть возможность попадания анализируемого объекта лишь в те области, которые имеют пересечения с областью, в которую объект уже попал [5].

С использованием описанных выше программ-генераторов случайных объектов и областей, для участия в эксперименте были подготовлены следующие данные:

1. Сто файлов объектов, каждый файл содержит информацию о ста объектах, параметры X, Y, K, Z, которые меняются в пределах от 1 до 100;

2. Двести восемьдесят один файл областей, параметры X, Y, K, Z, которые меняются в пределах от 1 до 100, а размеры областей варьируются от 2 до 25. Количество пересечений областей в файлах варьируется от 1 до 332.

Для каждого файла объектов подсчитывалось среднее количество операций сравнения при составлении классификационной матрицы с использованием каждого файла областей. Таким образом, было проведено 28100 экспериментов, результаты которых представлены в графическом виде на рис. 3. На рис. 3 представлена зависимость количества операций сравнения от количества пересечений областей в исходных данных. По горизонтали представлено количество пересечений областей, а по вертикали – количество операций сравнения. Каждая точка на графике представляет собой результат одного эксперимента.

Значение количества операций сравнения, равное 100, является максимальным и говорит о том, что параметры каждого анализируемого объекта были сравнены с параметрами каждой области, участвующей в эксперименте. Прямая линия на графике, соответствующая значению количества операций сравнения 100, характеризует наихудший результат работы при составлении классификационной матрицы методом последовательного перебора. График наглядно демонстрирует, что наибольшее количество операций сравнения приходится на наборы данных с наименьшим количеством пересечений областей. С увеличением количества пересечений областей количество операций сравнения уменьшается.

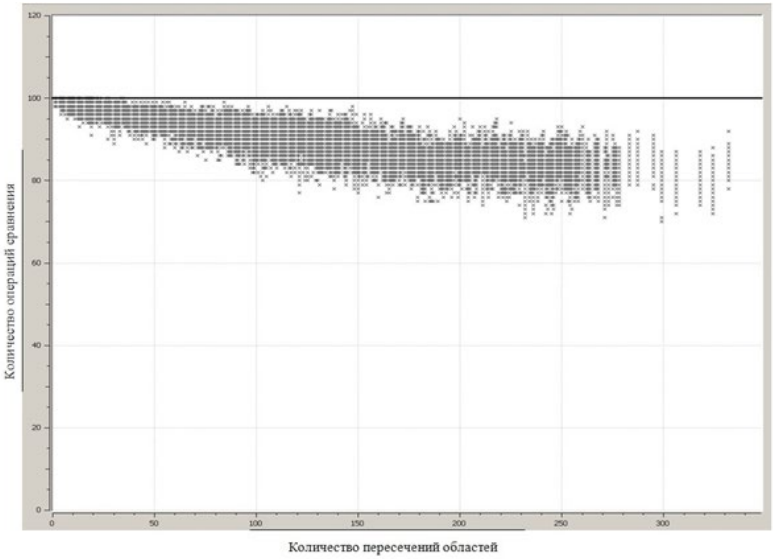


Рис. 3. Графическое представление результатов эксперимента

Детальный анализ входных данных, участвующих в эксперименте, показал, что реализации наборов объектов содержат большое количество объектов, которые не входят ни в одну область, характеризующую класс объекта. На практике при решении задачи классификации объектов такие неклассифицированные объекты являются новыми объектами, информация о которых не занесена в каталог эталонных значений либо помеховыми объектами, обусловленными сложной внешней обстановкой. Очевидно, что данные объекты сильно влияют на результаты эксперимента, так как для каждого такого объекта проводится сравнение с каждой областью в параметрическом пространстве.

Представляет интерес проведение данного эксперимента в других условиях: с анализом полученных результатов только для полезных объектов, т.е. объектов, попавших хотя бы в одну область. Применив соответствующий фильтр для входных данных, участвующих в эксперименте на предыдущем этапе, были получены результаты, представленные в графическом виде на рис. 4.

Рис. 4 демонстрирует полученные результаты и позволяет сделать следующий вывод: преимущество комбинированного метода на подготовительном этапе по сравнению с базовым очевидно -количество

операций сравнения снижается по статистическим оценкам в среднем в два раза. Прямая линия на графике, соответствующая значению количества операций сравнения 100 – наихудший результат работы при составлении классификационной матрицы методом последовательного перебора. При этом эксперимент показал среднее количество операций сравнения, равное 50.

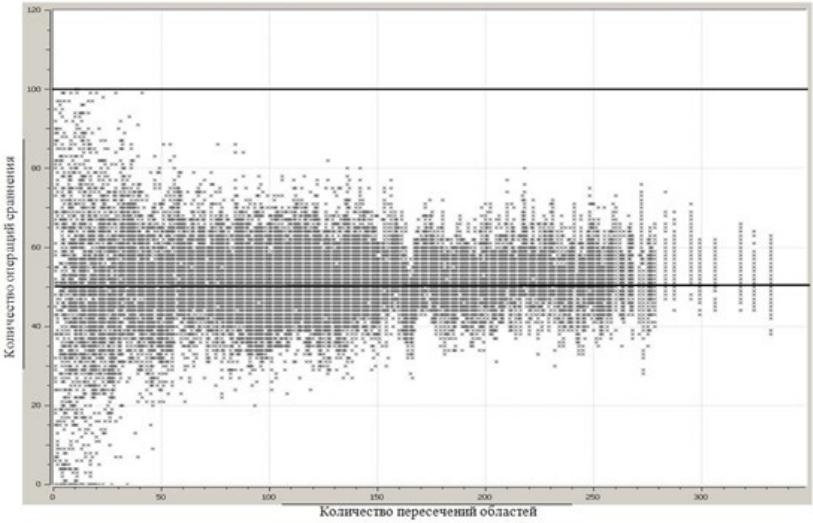


Рис. 4. Отображение результатов повторного эксперимента

3. Анализ эффективности применения списочного алгоритма представления классификационной матрицы.

Целью эксперимента являлось сравнение двух алгоритмов представления и обработки данных при выполнении процедуры последовательного нормирования. В данном случае речь идет о матричном и списочном алгоритмах представления и обработки классификационной матрицы. Матричный алгоритм представляет данные, составляющие классификационную матрицу в виде двумерного массива, списочный – в виде циклически связанных ортогональных списков. Наибольший проблемный интерес представляет сокращение времени выполнения для матриц большой размерности (50x50, 100x100). Как правило, на практике объект классификации не может попадать во все классы из каталога эталонных значений (или в большую их часть), отсюда следует вывод о разреженности классификационной матрицы.

В связи с отмеченным выше, представляет интерес использование списков для хранения и обработки классификационной матрицы [6, 7].

Рассмотрим реализацию данной задачи на компьютере с использованием примера, в котором с увеличением размерности классификационной матрицы увеличивается разреженность. Расчеты проводились для матриц размерностью 50×50, 100×100, 150×150, 200×200, 250×250, 300×300 для числа объектов и классов соответственно. Исходные матрицы сформированы так, что каждый объект соответствует 5 различным классам, заданным в случайном порядке. Число объектов, имеющих одинаковые классификационные образы, составляет 20 %. Результаты представлены в виде временных диаграмм на рис. 5. Данный эксперимент является примером, иллюстрирующим возможность реального сокращения временных характеристик при решении задачи классификации. Как видно из графика, представленного на рис. 5, списочный алгоритм обеспечил снижение выполнения процедуры последовательного нормирования по сравнению с матричным. Снижение реальных временных затрат реализации списочного алгоритма пропорционально размерности классификационной матрицы.

При условиях заполнения классификационной матрицы, описанных в данном эксперименте, применение матриц размерностью (100x100 – 300x300) показало разницу в быстродействии в среднем два раза в пользу списочного алгоритма. При малых размерах классификационной матрицы эффективность списочного алгоритма падает. Это обусловлено особенностью организации и взаимодействия с памятью при использовании динамических списков для хранения и обработки данных. Однако, падение эффективности применения списочного алгоритма на матрицах малой размерности является несущественным по причине относительно малого времени выполнения процедуры последовательного нормирования.

С целью более глубокого анализа сравнительных соотношений использования матричного и списочного алгоритмов проведем анализ количества операций без учета взаимодействия с памятью. Для проведения эксперимента была использована программа реализации работы процедуры последовательного нормирования в режиме циклического задания исходных данных. В этом режиме происходит автоматическое задание исходных данных методом циклического перебора всех возможных вариантов заполнения исходной матрицы единичными элементами. Для каждой сгенерированной матрицы производится дополнение ее до квадратной и применяется процедура последовательного нормирования.

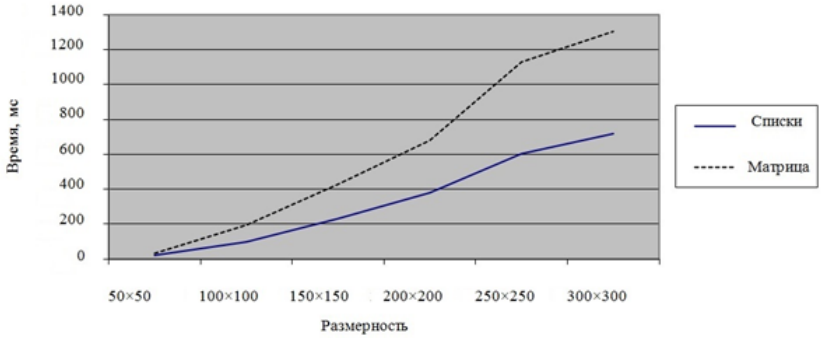


Рис. 5. Результат сравнения времени реализации на компьютере процедуры последовательного нормирования для списочного и матричного алгоритмов

Результат – количество операций, произведенных в ходе проведения процедуры, запоминается и отмечается точкой на результирующем графике. Для проведения эксперимента была установлена размерность матрицы 5x5. Данная размерность позволяет получить статистическую оценку путем проведения полного цикла перебора заполнения матрицы единичными элементами. При рассматриваемых условиях без учета взаимодействия с памятью, выводы, полученные для матрицы 5x5, можно использовать для матриц большей размерности. Результаты проведенного анализа представлены в виде фрагментов графиков на рис. 6, 7. На данных графиках отражено количество операций, произведенных при выполнении процедуры последовательного нормирования для матрицы 5x5 с помощью матричного алгоритма (рис. 6) и с помощью списочного алгоритма (рис. 7). По горизонтали отражено количество экспериментов, а по вертикали – количество операций.

Проведенный эксперимент показал среднее количество операций, затраченных на выполнение процедуры последовательного нормирования с помощью матричного алгоритма, равное 736, тогда как количество операций для списочного алгоритма составило 344. Таким образом, показано сокращение операций при выполнении процедуры последовательного нормирования в среднем в два раза. Это соотношение совпадает с результатом, полученным в первой части эксперимента.

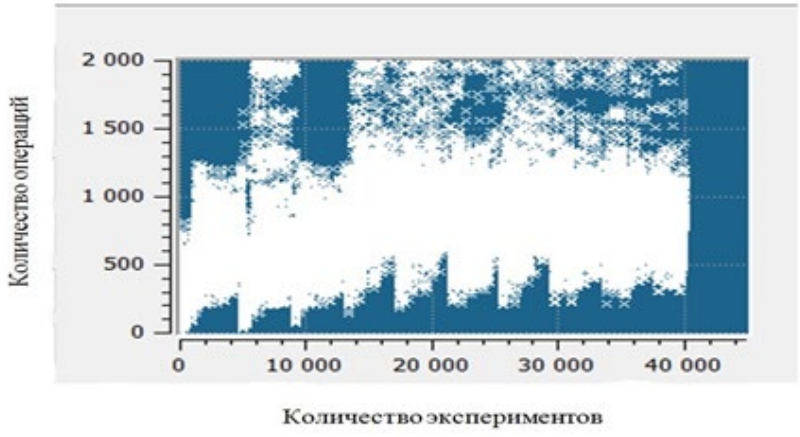


Рис. 6. Отображение результатов работы матричного алгоритма

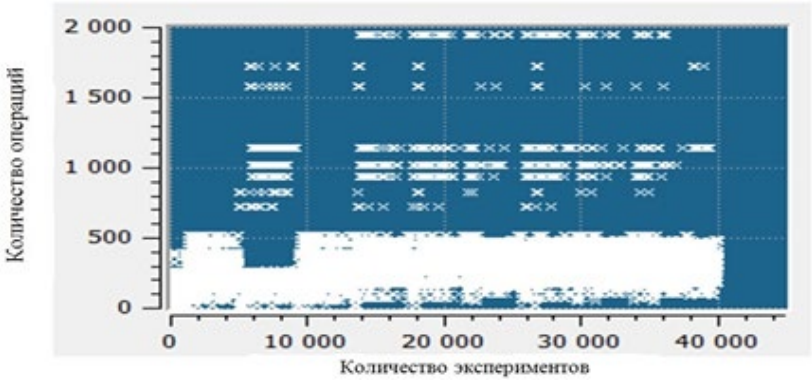


Рис. 7. Отображение результатов работы списочного алгоритма

4. Оценка влияния сокращения классификационной матрицы на решение задачи классификации.

Целью являлась оценка эффективности применения сокращения классификационной матрицы на подготовительном этапе. Эксперимент заключался в сравнении количества операций, затраченных на выполнение процедуры последовательного нормирования применительно к классификационной матрице в неизменном виде, созданной на подготовительном этапе, с количеством операций, затраченных на выполнение данной процедуры применительно к

сокращенной классификационной матрице. Сокращенная классификационная матрица представляет собой одну либо несколько матриц, содержащих только взаимозависимые элементы.

Для участия в эксперименте из сгенерированного ранее набора входных данных были выбраны четыре файла областей, содержащих по 100 областей каждый. Общее количество пересечений областей в выбранных файлах равно: 0, 100, 200 и 300. Для каждого файла областей было сгенерировано по одному файлу объектов с информацией о девяноста объектах каждый. Файлы объектов генерировались таким образом, что для каждой связки «файл областей – файл объектов» соблюдаются следующие условия: параметры девяноста объектов распределены по отношению к областям так, что тридцать объектов не попадают ни в одну область, тридцать объектов попадают не более, чем в одну область и оставшиеся тридцать объектов попадают в пересечения областей, т.е. более, чем в одну область. Для файла областей с нулевым количеством пересечений объекты распределились: 30 объектов – не попали ни в одну область, 60 объектов попали в области. Для каждого соотношения «файл объектов – файл областей» была создана классификационная матрица с помощью программы анализа параметров объектов. На следующем этапе для каждой классификационной матрицы был произведен расчет с помощью программы реализации работы процедуры последовательного нормирования в режиме ввода данных из файла. Далее каждая из классификационных матриц была сокращена с помощью программы анализатора классификационных векторов. В результате сокращения из состава каждой матрицы были выведены объекты, не имеющие взаимозависимых объектов, а оставшиеся объекты были разделены на подмножества взаимозависимых объектов. Для каждого из таких подмножеств была построена классификационная матрица. К каждой новой классификационной подматрице была применена процедура последовательного нормирования. Результатом эксперимента стало количество операций сравнения, проделанных во время применения процедуры последовательного нормирования по отношению к исходным матрицам и к подматрицам, созданным в результате сокращения. Эксперимент проводился с использованием двух алгоритмов представления и обработки классификационной матрицы: списочным и матричным.

Проведенный эксперимент является примером возможности сокращения вычислительной трудоемкости при решении задачи классификации в среднем в два раза. Результаты эксперимента позволяют сделать следующий вывод: применение алгоритма

сокращения классификационной матрицы на подготовительном этапе позволяет существенно сократить затраты на выполнение процедуры последовательного нормирования. Проведенный эксперимент в результате дал преимущество применения сокращенной матрицы перед исходной по количеству операций сравнения в ~2 раза [8].

Так как данный эксперимент проводился с применением и матричного и списочного алгоритмов представления и обработки классификационной матрицы, результат эксперимента подтвердил вывод о сокращении количества операций сравнения при применении списочного алгоритма перед матричным в 3,45 раза. В приведенных выше результатах эксперимента не используются результаты, полученные для файла с нулевым количеством пересечений областей. Этот файл представляет собой исходные данные для определения предельной оценки вычислительной трудоемкости. В результате для файла с нулевым количеством пересечений для решения задачи классификации применительно к исходной классификационной матрице матричным алгоритмом потребовалось 135036 операций сравнения, списочным алгоритмом – 8184 операции сравнения. Результатом применения к данной исходной матрице разработанного алгоритма сокращения классификационной матрицы стала классификационная матрица нулевой размерности. Этот результат является очевидным, так как области не имеют пересечений, а следовательно, все объекты будут однозначно классифицироваться.

5. Оценка вычислительной трудоемкости методического обеспечения функционирования СППР АСУ специального назначения

Вычислительную трудоемкость базового метода классификации можно представить в следующем обобщенном виде [9]:

$$T_Б = T_1 + T_2 + T_3 \qquad (1)$$

где T_1 – вычислительная трудоемкость, подготовительного этапа; T_2 – вычислительная трудоемкость процедуры последовательного нормирования; T_3 – вычислительная трудоемкость завершающего этапа.

Оценку вычислительной трудоемкости комбинированного метода классификации можно представить в виде:

$$T_K = T_1 / \kappa 1 + T_2 / (\kappa 2 * \kappa 3) + T_3 \qquad (2)$$

где $\kappa 1$ – параметр, характеризующий статистическую оценку сокращения вычислительной трудоемкости подготовительного этапа; $\kappa 2$ – параметр, характеризующий статистическую оценку сокращения

вычислительной трудоемкости выполнения процедуры последовательного нормирования за счет применения списочного алгоритма формирования классификационной матрицы; $\kappa 3$ – параметр, характеризующий среднюю оценку сокращения вычислительной трудоемкости выполнения процедуры последовательного нормирования за счет применения алгоритма сокращения классификационной матрицы.

Сравнительную оценку общей вычислительной трудоемкости теперь можно представить в виде:

$$S = \frac{T_Б}{T_K} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{T_1 / \kappa 1 + T_2 / (\kappa 2 * \kappa 3) + T_3} \qquad (3)$$

Формулу (3) можно упростить, учитывая из практических соображений, что T3 << T1 и T3 << T2. Тогда

$$S = \frac{T_Б}{T_K} = \frac{T_1 + T_2}{T_1 / \kappa 1 + T_2 / (\kappa 2 * \kappa 3)} \qquad (4)$$

В работе [9], показано, что $\kappa 1 \approx 2$, $\kappa 2 \approx 2$, $\kappa 3 \approx 2$. В то же время, учитывая приближенность данных оценок с целью формирования итоговой оценки с существенным запасом получаем $S = 2$.

Таким образом, общая итоговая сравнительная оценка характеризуется полученным с запасом значением статистической средней оценки, равной двум. В комбинированной методике классификации по сравнению с базовым методом классификации [1,2] введены новые, разработанные в рамках данной работы алгоритмы обработки данных. Вычислительная трудоемкость этих алгоритмов не превышает 10 % от общей трудоемкости, что практически не влияет на сформулированную итоговую оценку вычислительной трудоемкости.

Заключение

Выполненные исследования по оценке эффективности методического и алгоритмического обеспечения системы поддержки принятия решений автоматизированной системы управления специального назначения позволили сформулировать следующие заключения:

1. Исследование эффективности алгоритма предварительного анализа входных данных показало, что на подготовительном этапе работы комбинированной методики классификации количество операций сравнения снижается по статистической оценке в среднем два раза.

2. Анализ эффективности применения списочного алгоритма представления классификационной матрицы показал преимущество

списочного алгоритма перед матричным. Эксперимент показал снижение количества операций при применении списочного алгоритма по сравнению с матричным по статистическим оценкам в среднем в 2 раза. При этом снижение реальных временных затрат реализации списочного алгоритма пропорционально размерности классификационной матрицы.

3. Применение алгоритма сокращения классификационной матрицы позволяет уменьшить ее размерность и снизить вычислительную трудоемкость при выполнении процедуры последовательного нормирования в среднем в два раза. Снижение вычислительной трудоемкости варьируется в пределах от максимально необходимой при отсутствии возможности сокращения до полного исключения выполнения процедуры последовательного нормирования в случае вырождения классификационной матрицы.

4. Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод о снижении общей вычислительной трудоемкости при классификации объектов с использованием комбинированной методики в среднем в два раза по сравнению с базовым методом классификации. Полученный результат является особенно актуальным при решении поставленной задачи при интенсивном поступлении входных данных в масштабе реального времени.

Список литературы

1. Дикарев, В. А. Обработка параметров системы информационного обеспечения авиационных комплексов радиоэлектронной борьбы //Радиотехника (журнал в журнале). – 2001. – №4. – С.59-64.

2. Семин, М. В. Метод и алгоритм представления информации для обмена в сложной иерархической автоматизированной системе управления в условиях информационной перегрузки. Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». 2016, 9(4), С. 470-480.

3. Гетманчук, А. В. Алгоритм классификации радиотехнических сигналов по методу Г. В. Шелейховского / А. В. Гетманчук // Сборник докладов научно-технической конференции «Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов». – М.: ОАО «Концерн «Моринсис-Агат»», 2013.

4. Шпак, В. Ф. Программная реализация алгоритма классификации по методу Г.В. Шелейховского / В.Ф. Шпак, А.В. Гетманчук, С.А. Радченко, Андрей А. Кулаков // Вопросы специальной радиоэлектроники. Вып.3. -Таганрог: ФГУП ТНИИС, 2010.

5. Гетманчук, А. В. Высокопроизводительные метод и алгоритмы автоматической классификации объектов в условиях параметрической неопределенности и пересечения классов на основе методологии с системной максимизацией энтропии / А. В. Гетманчук // Известия ЮФУ, №7. –Таганрог, 2016.

6. Кулаков, А. А. Основные принципы параллельной обработки входной информации разнотипными АСУ радиотехнических комплексов / А. А. Кулаков, К. П. Лобода, В. Ф. Шпак, А. В. Гетманчук // Вопросы специальной радиоэлектроники Сер. ОВР. Вып.2. – Москва – Таганрог, 2013.

7. Федотов, А. А. Минимизация временных затрат на решение задачи классификации образов радиотехнических сигналов / А. А. Федотов, В. Ф. Шпак, А. А Кулаков // Вопросы специальной радиоэлектроники. Сер ОВР. Вып.2. – Москва – Таганрог, 2010.

8. Местецкий, Л. М. Математические методы распознавания образов: Курс лекций МГУ, ВМиК, кафедра «Математические методы прогнозирования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ccas.ru/frc/papers/mestetskii04course.pdf .

9. Горелик, А. Л. Селекция и распознавание на основе локационной информации / А. Л. Горелик, Ю. Л. Барабаш, О. В. Кривошеев, С. С. Эпштейн // –М.: Радио и связь, 1990.

Анализ требований потребителей к информации о воздушной обстановке, циркулирующей в сложной иерархической автоматизированной системе управления

А. Н. Потапов, email: potapov_il @mail.ru [1]
А. Л. Началов [2], Н. А. Черный [2]

[1] Воронежский государственный лесотехнический университет
[2] ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *Рассмотрена задача формирования требований потребителей к информации о воздушной обстановке, циркулирующей в сложной иерархической автоматизированной системе управления*

Ключевые слова: *Информация, система управления, потребители, воздушная обстановка. .*

Введение

Для анализа требований к информации о воздушной обстановке, циркулирующей в сложной иерархической автоматизированной системе управления (АСУ), необходимо проанализировать ее принципы построения и на основе декомпозиции определить перечень основных типовых элементов и подсистем потребителей информации.

В качестве сложной иерархической АСУ будем рассматривать информационную управляющую систему. Под информационно-управляющей системой (ИУС) понимается автоматизированная система, обеспечивающая эффективное функционирование управляемых объектов, в которой сбор и обработка и обмен информацией о воздушной обстановке, осуществляется с применением средств автоматизации и вычислительной техники. ИУС предназначена для обеспечения управления деятельностью подчиненных сил и средств в различных режимах функционирования, в том числе в ходе повседневной деятельности, и в ходе ведения боевых действий [1].

1. Требования потребителей к информации о воздушной обстановке, циркулирующей в сложной иерархической автоматизированной системе управления

Основными общесистемными принципами построения сложной иерархической АСУ являются [1]:

© Потапов А. Н., Началов А. Л., Черный. Н. А., 2025

1. Принцип системности, предполагающий определение сущности всех связей между элементами АСУ, а также между АСУ и взаимодействующими системами.

2. Принцип развития (открытости), предполагающий постоянное развитие, модификацию системы, так как любая сложная, отвечающая любому числу требований, система не может считаться совершенной.

3. Принцип совместимости, предполагающий комплексное развитие (разработку) различных подсистем и элементов АСУ. Принцип совместимости естественным образом дополняет первые два принципа, обеспечивая возможность создания новых более совершенных систем на базе имеющихся.

4. Принцип стандартизации (унификации), охватывающий систему в целом, ее подсистемы и компоненты, а так же все основные виды обеспечения ИС (техническое, информационное, лингвистическое, математическое, программное).

5. Принцип адаптации, заключающийся в создания АСУ способной к изменению своих параметров в зависимости от характеристик внешней среды. Усиление адаптационных свойств и расширение диапазона их проявления за рамки оговорённых ограничений достигается трансформацией принципа адаптивности в принцип самообучения.

6. Принцип эффективности заключается в достижении рационального соотношения между затратами на создание АСУ и целевыми эффектами, включая конечные результаты, получаемые в результате автоматизации.

Рассмотренные общесистемные принципы в равной мере могут быть распространены на подсистемы и элементы, составляющие АСУ. Это утверждение вытекает из возможности представления каждой подсистемы или элемента самостоятельной системой при снижении уровня общности рассмотрения. Различия могут заключаться лишь в значимости того или иного принципа применительно к той или иной системе.

Одной из основных подсистем ИУС, обеспечивающей решение задач в сфере воздушно-космической обстановки является подсистема сбора, обработки и выдачи информации о воздушной обстановке.

Основной задачей подсистемы сбора и обработки информации о воздушной обстановке является обеспечение потребителей информацией требуемого качества.

Основным общим требованием к подсистеме сбора и обработки информации о воздушной обстановки является требование адекватности отображения воздушной обстановки в реальном масштабе времени [2].

Требование реального масштаба времени предполагает отсутствие или минимально допустимые задержки в представлении результативной информации потребителю в структуре сложной иерархической АСУ.

Требование адекватности предполагает удовлетворение качеством информации требований потребителей по полноте, точности и достоверности.

С технической точки зрения под потребителями информации в сложной иерархической АСУ можно понимать элементы ее составляющие, такие как вычислительные комплексы или средства обработки информации, средства отображения информации, средства, обеспечивающие передачу информации и лица оперативного персонала.

С функциональной точки зрения под потребителями информации в сложной иерархической АСУ можно понимать:

– управляющие элементы (КСА пунктов и органов управления);

– управляемые элементы (системы и средства вооружений, то есть зенитные ракетные системы, истребительная авиация, средства РЭБ, а также собственно элементы информационной системы – элементы, основной функцией которых является решение задачи сбора и обработки и выдачи информации о воздушной обстановке).

Процесс отображения воздушной обстановки системой связан с разного рода неопределенностями. К этим неопределенностям следует отнести в первую очередь физические и лингвистические неопределенности. К физическим неопределенностям относятся неопределенности, возникающие в связи с ограниченными возможностями элементов системы по точности, разрешающей способности и производительности. К лингвистическим неопределенностям относятся неопределенности, связанные с представлением информации в системе в виде соответствующего набора кодов и символов, то есть с языком принятым в системе для описания данных о воздушной обстановке.

Обозначим функцию, характеризующую обобщенную неопределенность отображения воздушных объектов в системе, имеющую смысл степени соответствия отображения объекта самому объекту и характеризующую адекватность отображения объекта системой. Количественно характеризует степень принадлежности элемента множества отображенных объектов множеству воздушных объектов, реально находящихся в зоне ответственности системы. Неопределенность отображения, как величина обратная степени соответствия зависит от поведения внешней среды – тактических приемов, применяемых противником для нейтрализации радиолокационной системы, и от наличия в системе информационных

ресурсов, т.е. процедур (алгоритмов), обеспечивающих требуемое отображение и вычислительных (аппаратных) ресурсов, необходимых для их реализации и функционирования. В общем смысле функция, характеризующая неопределенность отображения объекта системой взаимно однозначно соответствует функции, характеризующей степень неопределенности реализации отображения объекта системой посредством имеющихся в системе информационных ресурсов процедур (алгоритмов).

Допустим, что мера функции неопределенности изменяется в пределах от 0 до 1. Воздушный объект однозначно отображается на элементе системы при значении и, естественно тогда . Это означает что в системе (на ее элементе) реализованы алгоритмы, обеспечивающие адекватное отображение данного воздушного объекта. Неопределенность реализации на элементах системы новых операций (алгоритмов) , и в данном случае она стремится к 0. Т. е. в принципе в них нет необходимости, так как наличное множество алгоритмов и наличный ресурс обеспечивает целевое функционирование системы. Если же , т. е. воздушный объект в системе отображается неадекватно, или совсем не отображается, тогда и . В этой ситуации и необходима реализация на элементах системы новых алгоритмов (операций) с привлечением дополнительных ресурсов, обеспечивающих ее целевое функционирование, т. е. отображение объекта в системе.

Представим идеализированный вариант системы сбора и обработки. В состав ее входят измерительные средства (РЛС), осуществляющие обнаружение, определение кинематических параметров и признаков воздушных объектов и другие элементы (КСА ПУ, КП, ПУ подразделений, частей и соединений), осуществляющие сбор, обработку, хранение, отображение и выдачу информации, объединенные с использованием системы передачи информации в иерархическую многоуровневую структуру.

Пусть каждое измерительное средство имеет зону информации определенных пространственных размеров. Совокупность зон информации измерительных средств составляют зону ответственности системы. Пусть на элементах системы реализованы современные алгоритмы (используемые в реально существующих в настоящее время системах), обеспечивающие первичную, вторичную и третичную обработку [1] координатно-точечной информации с соответствующим набором признаков. Каждый из элементов системы характеризуется определенной, достаточно высокой точностью σs и разрешающей способностью Δs. При этом точностные характеристики и разрешающая

способность системы определяются интервалом времени дискретизации или ценой младшего разряда кодограмм обмена.

Пусть система не имеет ограничений в вычислительных ресурсах. Характерной чертой тактики противника в безъядерный период в условиях массированных ударов является использование плотных боевых порядков. Допустим, что измерительные элементы системы обеспечивают разрешение каждого воздушного объекта. В ходе вторичной и третичной обработки осуществляется объединение данных о воздушных объектах, поступающих в общем случае в различные моменты времени. То есть система сбора и обработки является дискретно функционирующей во времени системой [1]. В настоящее время стоящие на оснащении системы и перспективные РЛС можно классифицировать как РЛС с медленным и быстрым обзором пространства. К классу РЛС с медленным обзором пространства [2], относятся РЛС, у которых число циклов обзора в единицу времени (в 1 сек.) m значительно меньше 1, $m << 1$, а к классу РЛС с быстрым обзором пространства – РЛС, у которых $m \geq 1$. В КСА КП (ПУ) алгоритмы обработки включаются в соответствии с выставленными приоритетами в моменты поступления информации от источников, т. е. в моменты обновления информации. Интервал времени между обновлениями информации по одному и тому же воздушному объекту, поступающей от одного и того же источника, соответствует периоду обзора РЛС. КСА КП, как правило, выдают информацию по каждому воздушному объекту (ВО) один раз в течение цикла обработки (один раз в 10 секунд). Таким образом, если воспользоваться вышеозначенным подходом классификации РЛС и методом аналогий, радиолокационную систему можно отнести к дискретно функционирующим системам с большим периодом обновления информации по аналогии с классификацией РЛС, приведенной в [2].

Основными процедурами алгоритмов вторичной и третичной обработки являются: приведение данных к единой системе координат и моменту времени, отождествление координат, обобщение признаков и характеристик, расчет экстраполированного положения ВО.

Одной из важнейших особенностей построения современных и развивающихся сложных иерархических АСУ, стоящих на эксплуатации состоит в том, что они состоят их технических элементов разных поколений, обладающих существенно различающимися возможностями. Наличие в иерархической системе элементов разных поколений увеличивает ее сложность, то есть увеличивает слабопредсказуемость свойств системы и возможности по проявлению скрытых или самостоятельных тенденций целенаправленного поведения [3].

Комплексный учет требований потребителей к информации о воздушной обстановке предполагает учет их с обеих точек зрения – как с общей технической точки зрения, так и с функциональной. Поэтому, анализ требований потребителей информации так же необходимо проводить с учетом этих точек зрения.

В настоящее время группирование информации может использоваться:

– для сокращения объема информации о воздушной обстановке при представлении ее на средствах отображения РЛИ КСА КП и исключения перекрытия отображаемых данных;

– для выдачи на неавтоматизированный КП;

– для выдачи на взаимодействующий КП меньшей производительности;

– для сокращения времени поиска ВО при обнаружении РЛС программного обзора;

– для повышения качества решения задач по информации о воздушной обстановке на КП высших уровней;

– для сокращения объема обрабатываемой и выдаваемой с РЛС информации по команде с КСА КП (ПУ) подразделения.

Наличие в специальном математическом обеспечении (СМО) КСА КП и РЛС различных алгоритмов группирования не позволяет создать основу для обеспечения единого представления ВО на различных уровнях информационной системы, повышает загрузку вычислительного комплекса и создает предпосылки для информационной перегрузки системы.

Известные методы группирования разработаны в рамках решения задачи классификации. При этом в силу многомерности и неопределенности исходной информации о характеристиках групп ВО использовались вариационный подход или подход, основанный на интуитивных соображениях. Общей характерной чертой всех реализованных и большинства известных методов является использование при группировании стробов правильной геометрической формы, размеры которых либо задаются априори (на основе анализа групповой тактики противника на учениях или в локальных конфликтах), либо подбираются автоматически в соответствии с размерами выделенной алгоритмом группы. В известных алгоритмах часто пользуются априори заданным распределением аппроксимирующим реальное распределение составляющих группу воздушных объектов относительно ее «центра тяжести». Распределение, как правило, имеет вид «потенциальной функции». При этом теряется информация о структуре боевого порядка и о составляющих группу

воздушных объектах. При увеличении степени группирования количество информации снижается за счет сокращения данных по составляющим группы целям. Наиболее существенные признаки, характеризующие боевой порядок групп, которые можно было бы использовать в ходе обработки в системе для повышения качества информации, при группировании теряются. Поэтому известные методы и алгоритмы группирования не обеспечивают снижения потерь информационной системы в условиях информационной перегрузки. Только в случае разработки метода, обеспечивающего согласование количества информации, циркулирующей в системе с возможностями ее элементов, при удовлетворении ее качества требованиям огневых средств имеет смысл говорить о разрешении проблемы перегрузки и снижении потерь информации в системе.

Наряду с этим необходимо отметить, что группирование осуществляется только в условиях отсутствия помех. Информация об областях постановки помех и их параметрах не подвергается обработке и передаче в системе сбора и обработки информации о воздушной обстановке.

Одним из путей, обеспечивающих решение этой проблемы, является агрегирование. Агрегирование представляет собой переход от функции (или совокупности функций) многих переменных к функции или совокупности функций меньшего числа переменных, или от описания воздушной обстановки большим количеством данных (отметок от воздушных объектов) к описанию существенно меньшим количеством агрегированных данных при обеспечении требуемого качества информации (полноты и точности).

Таким образом, для обеспечения эффективного функционирования в условиях информационной перегрузки элементов системы, необходима разработка соответствующих методов и алгоритмов представления информации, обеспечивающих сокращение времени потребного на обмен и обработку информации. Это путь позволил бы существенным образом снизить влияние факторов создающих условия для возникновения информационной перегрузки при обмене информацией о воздушной обстановке в системе, повысить адекватность отображения, качество информации и на этой основе и собственно эффективность системы. Очевидно, что разрабатываемые методы и алгоритмы должны обеспечивать при ограничениях на производительность каналов обмена, и удовлетворении требований потребителей, увеличение количества отображаемых воздушных объектов, сокращение времени обработки и обмена и на этой основе повышение качества информации на выходе системы сбора и обработки.

Добывание информации о воздушной обстановке осуществляется посредством измерительных элементов – источников информации или РЛС, РЛК, а также средств, построенных на других физических принципах. Допустим, что совокупность измерительных элементов удовлетворяет требованиям потребителей информации. При этом в соответствии с вышеприведенными основными общими требованиями необходимо, чтобы подсистема сбора и обработки не снижала качество информации или снижала его в допустимых пределах.

Рассмотрим основные требования технических и эргатических элементов системы – потребителей информации о воздушной обстановке.

В соответствии с вышесказанным, к техническим потребителям информации о воздушной обстановке в развивающейся сложной иерархической АСУ следует отнести каналы передачи данных и вычислительные комплексы КСА. Требования со стороны этих элементов чаще всего могут предъявляться, когда в состав системы в ходе ее развития и модернизации включаются новые элементы (например, КСА КП, ПУ), обладающие более высокими характеристиками, чем существующие. Основным требованием, возникающим в этих условиях, является требование к количеству информации, поступающей на вход канала передачи данных или вычислительного комплекса. Это требование возникает в связи с разной производительностью существующих каналов передачи данных и вычислительных комплексов КСА и вновь поставляемых элементов. Требование состоит в необходимости согласования количества поступающей на вход информации с возможностями каналов передачи данных или вычислительных комплексов по производительности.

Задача информационного обеспечения выработки сигналов и информации предупреждения обуславливает следующие требования [3]:

- обнаружение и распознавание должно осуществляться с вероятностью не ниже 0,9 летящих в сторону границ ударных беспилотных летательных аппаратов , пуск которых имеет необратимый характер;

– относительная погрешность в определении численности средств воздушного нападения (СВН), принимающих участие в ударе, не должна превышать 5-10 %;

– задержка времени выдачи информации предупреждения не должна превышать 5-10 % от подлетных времен ;

– ошибки оценки плоскостных координат СВН не должны превышать 2-2,5 км, курса цели – 100 , скорости 100 км/ч, высоты 1 км.

Анализ приведенных данных показывает, что к системе сбора и обработки информации о воздушной обстановке предъявляются чрезвычайно высокие, подчас противоречивые требования по выдаче информации высокой точности и достоверности в больших объемах пространства. Система соответствующая этим требованиям должна обладать высоким быстродействием и обеспечивать обработку больших объемов информации с высокой точностью и разрешающей способностью в реальном масштабе времени. С одной стороны она должна выдавать детальную информацию обо всех воздушных объектах, с другой обобщенную, позволяющую оценивать замысел воздушного противника.

Заключение

Компоненты автоматизированной системы обладают вполне определенными информационными возможностями и ресурсами, не всегда позволяющими обеспечить предъявляемые к качеству РЛИ требования. Наряду с техническими возможностями элементов подсистемы сбора и обработки информации существенное влияние на ее качество оказывают алгоритмы, в соответствии с которыми осуществляется сбор, обработка и выдача информации о воздушной обстановке. В сложной иерархической АСУ это особенно может проявляться в условиях массированных ударов при создании предпосылок для информационной перегрузки. Единственным путем удовлетворения столь противоречивых требований является адаптивное представление информации в соответствии с требованиями потребителей к ее качеству, ее количеством и возможностями элементов по обмену и обработке.

Список литературы

1. Башмаков, А. И. Интеллектуальные информационные технологии / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 302 с.

2. Дорофеюк В.Л. Алгоритмы автоматической классификации //Автоматика и телемеханика, 1992.

3. Семенов С.А., Новоселов П.В., Пильщиков Д.Е. «Метод формирования траекторий групп воздушных объектов» М.: «Радиотехника», Журнал в журнале «Конфликтно-устойчивые радиоэлектронные системы», № 5, 2005 г.

Построение системы стабилизации антенной решетки с применением средств компьютерного моделирования

С. Н. Разиньков [1], e-mail: razinkovsergey@rambler.ru,
Д. Н. Борисов [2], e-mail: email: borisov@sc.vsu.ru,
А. Б. Буслаев [1], e-mail: bus-alex@yandex.ru,
А. В. Богословский [1], e-mail: bogosandrej@yandex.ru

[1] ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
[2] Воронежский государственный университет

Аннотация. *С использованием многофункционального пакета объемного моделирования Blender построена полноразмерная цифровая модель системы крепления и пространственной стабилизации фазированной антенной решетки, оценена возможность ее размещения на носителе. Созданный проект импортировался в систему автоматизированного проектирования AutoCAD для получения сборочного чертежа, по которому физически изготовлено стабилизирующее устройство. Практическая реализация управления положением решетки осуществлялась по интерфейсу передачи данных I2C с применением платы ArduinoUno. Программное обеспечение для изделия выполнено на высокоуровневом языке C++.*

Ключевые слова: *Программное обеспечение, трехмерная графика, моделирование объектов, антенная решетка, система стабилизации, микроконтроллер, датчики положения, сервомодули, схема управления.*

Введение

Для получения качественных радиолокационных изображений с целью формирования точной карты местности необходимо обеспечить линейное движение средств мониторинга с антеннами. Это требование сложнее выполнить, если работа ведется с авиационного носителя, для которого характерны случайные изменения курса в трех плоскостях в результате крена, тангажа и рысканья [1-3]. Компенсировать указанный эффект предлагается за счет использования стабилизирующего устройства, поддерживающего значения углов относительно трех взаимно перпендикулярных осей вращения.

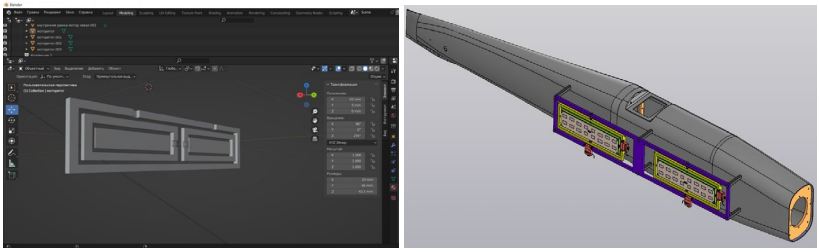
© Разиньков С. Н., Борисов Д. Н., Буслаев А. Б., Богословский А. В., 2025

С применением компьютерных программ Blender, AutoCAD и языка C++ проведен полный цикл работ по созданию системы стабилизации антенной решетки мобильной радиолокационной станции начиная с создания цифрового макета и спецификации до написания драйверов и получения действующего образца [4-6].

Цель работы – построение системы стабилизации антенной решетки для авиационных носителей.

1. Моделирование системы стабилизации антенной решетки

Создание трехмерной модели стабилизирующего устройства включало моделирование его каркаса размерами 160x1100 с поворотными рамками величиной 130x400 и отклоняющимися основаниями с габаритами 80x300. Цифровой макет системы в рабочем окне программы Blender показан на рис. 1 (а), на рис 1 (б) приведен вариант размещения антенной системы на фюзеляже носителя.



а б

а – в рабочем окне Blender, б – на фюзеляже носителя

Рис. 1. Объемная модель системы стабилизации

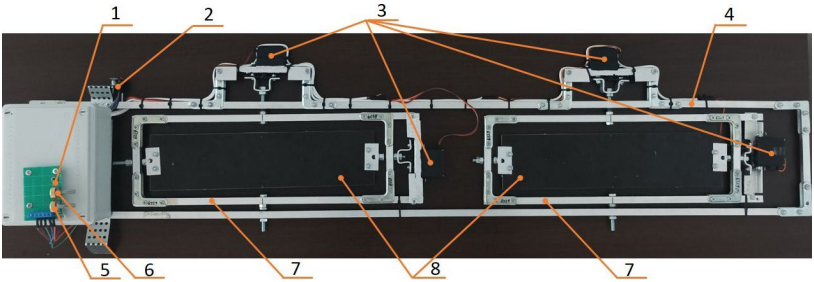
Цифровая модель системы импортировалась в AutoCAD для создания сборочного чертежа. При этом в настройках Blender во вкладке Add-ons устанавливался формат DXF (.dxf), чтобы обеспечивалась возможность работы с файлами после переноса в среду автоматизированного проектирования.

Каркас и поворотные рамки изготавливались из алюминиевого профиля, основания для антенной системы выполнялись из электроизоляционного материала текстолита.

В разработанном устройстве поворотное перемещение рамок обеспечивается серводвигателями MG996R, угол отклонения регулируется потенциометрами. Плавность движения достигается применением карбоновых втулок. Управление осуществляется через блок ArduinoUno с датчиками положения [7]. Электропитание подается

от аккумуляторной батареи носителя через преобразователь постоянного напряжения LM2596.

Общий вид собранной системы стабилизации приведен на рис. 2.



1 – цифровой переключатель режима работы; 2 – плата с датчиками; 3 – сервоприводы; 4 – несущая рама; 5 – потенциометр, обеспечивающий вращение по углу крена; 6 – потенциометр, отвечающий за вращение по углу рыскания; 7 – рамы; 8 – основания

Рис. 2. Система стабилизации антенной решетки

Схема управления включает три основных блока: блок датчиков, блок сервомодулей и блок управления.

Блок датчиков включает: гироскоп, акселерометр и магнитометр. Его задача состоит в своевременном обеспечении информацией блока управления данными с сенсоров. Трехосевой гироскоп формирует данные об угловой скорости движения системы по каждой из осей в град/сек. Акселерометр определяет величину линейного ускорения по трем осям и служит источником параметров вектора силы тяжести. Магнитометр измеряет интенсивность и направления магнитного поля, что позволяет определить ориентацию системы.

Блок сервомодулей представляет собой набор сервоприводов, которые отвечают за движение отдельных конструктивных единиц для осуществления стабилизации по углам рысканья и крена. Начальное положение сервоприводов задается с помощью потенциометров.

Основой блока управления является плата ArduinoUno. На ее вход поступают данные с датчиков, где они проходят фильтрацию, обработку с последующим формированием выходных сигналов.

2. Разработка программного обеспечения для системы управления стабилизирующего устройства

Аппаратная платформа ArduinoUno построена на базе микроконтроллера ATmega328 и содержит 14 цифровых входов/ выходов

(6 – выходов ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP.

Для осуществления прошивки необходимо установить драйвер программатора платы CH340 и среду разработки Arduino IDE. В панели «Инструменты» выбирается плата и порт, к которому она подключена. После компиляции программы начнется ее загрузка в плату. Программное обеспечение написано на языке C++, адаптированном под семейство Arduino. Файл имеет расширение .ino и открывается через Arduino IDE.

Программа разделена на несколько блоков. В первом блоке проводится инициализация необходимых библиотек: wire.h, Arduino.h, I2Cdev.h, MPU6050_6Axis_MotionApps20.h, EncButton.h, ServoSmooth.h.

Второй блок программы составляет метод setup. В нем осуществляется подключение последовательного порта для настройки программы, подключение и калибровка датчика, настройка и вывод на исходные положения четырех сервоприводов, как показано на рис. 3.

```
servos[0].attach(5, init_0); //yaw_right
servos[0].smoothStart();
servos[2].attach(6, init_2); //roll_right
servos[2].smoothStart();
servos[1].attach(11, init_1); //yaw_left
servos[1].smoothStart();
servos[3].attach(10, init_3); // roll left
servos[3].smoothStart();

servos[0].setAccel(accel_servo);
servos[0].setSpeed(speed_servo);
servos[0].setAutoDetach(false);
servos[1].setAccel(accel_servo);
servos[1].setSpeed(speed_servo);
servos[1].setAutoDetach(false);
servos[2].setAccel(accel_servo);
servos[2].setSpeed(speed_servo);
servos[2].setAutoDetach(false);
servos[3].setAccel(accel_servo);
servos[3].setSpeed(speed_servo);
servos[3].setAutoDetach(false);
```

Рис. 3. Подключение и калибровка сервоприводов

Следующий блок программы – основной цикл loop. В нем с задержкой в 10 мс проводится опрос датчиков и анализ состояния переключателя. В случае нажатия тумблера согласно прописанным условиям ЕСЛИ-ТО происходит выбор режима работы.

При выборе режима стабилизации программа запоминает текущие положения сервоприводов (углы поворота каждого сервопривода) и текущие показания датчиков (углы рыскания и крена).

Если выбран режим настройки сервоприводов, то программа опрашивает управляющие потенциометры. В случае отличий полученных значений от исходных больше, чем на 10, считается, что сервопривод повернут и происходит его подстройка на заданный угол. Этот этап предотвращает резкие скачки сервоприводов при подаче питания. Связь значения сопротивления потенциометров с углом поворота сервоприводов осуществляется следующим образом. На аналоговый вход платы поступает сигнал о значении сопротивления потенциометра, затем посредствам команды map происходит пропорциональный перенос этого значения в диапазон работы сервоприводов, рассчитываемый как их начальное положение плюс/минус максимально допустимый угол отклонения (показано на рис. 4).

```
void settings_servo_yaw()
  {
  servos[0].tick();
  servos[1].tick();
  int newPosYaw_0 = map(analogRead(potPinYaw), 0, 900, init_0 - diff, init_0 + diff);
  int newPosYaw_1 = map(analogRead(potPinYaw), 0, 900, init_1 - diff, init_1 + diff);
  servos[0].setTargetDeg(newPosYaw_0);
  servos[1].setTargetDeg(newPosYaw_1);
  delay(50);
  }

void settings_servo_roll()
  {
  servos[2].tick();
  servos[3].tick();
  int newPosRoll_2 = map(analogRead(potPinRoll), 0, 900, init_2 - diff, init_2 + diff);
  int newPosRoll_3 = map(analogRead(potPinRoll), 0, 900, init_3 - diff, init_3 + diff);
  servos[2].setTargetDeg(newPosRoll_2);
  servos[3].setTargetDeg(newPosRoll_3);
  delay(50);
  }
```

Рис. 4. Настройка исходных положений сервоприводов

Стабилизация осуществляется путем расчета рассогласования между исходным углом крена (рыскания) и текущим, с последующим суммированием полученного значения со значением исходного положения сервопривода. Для предотвращения выхода за допустимые пределы поворота применяется функция constrain, которая устанавливает ограничения. Листинг программы приведен на рис. 5.

```
void compensation()
  {
  int err = lastPosYaw - yaw;
  int new_yaw_0 = lastPosServYaw_0 + err; // + err
  int new_yaw_1 = lastPosServYaw_1 + err;
  servos[0].write(constrain(new_yaw_0, init_0 - diff, init_0 + diff));
  servos[1].write(constrain(new_yaw_1, init_1 - diff, init_1 + diff));
  int err_pit = lastPosRoll - roll;
  int new_roll_2 = lastPosServRoll_2 + err_pit;
  int new_roll_3 = lastPosServRoll_3 + err_pit;
  servos[2].write(constrain(new_roll_2, init_2 - diff, init_2 + diff));
  servos[3].write(constrain(new_roll_3, init_3 - diff, init_3 + diff));
  }
```

Рис. 5. Реализация алгоритма стабилизации

Формирование углов крена и рыскания из данных акселерометра, гироскопа и магнитометра происходит с использованием встроенного в датчик модуля DigitalMotionProccesor (DMP), для повышения точности исключается гравитационное воздействие.

На рис. 6 показано изделие, установленное на авиационный носитель.

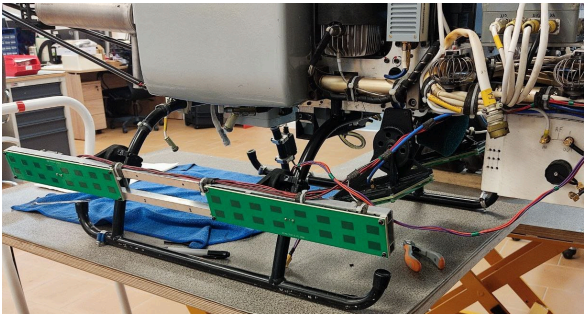


Рис. 6. Система стабилизации антенной решетки на носителе

Для уменьшения влияния атмосферных осадков на работу модуля с антенной решеткой планируется установка на него радиопрозрачного защитного обтекателя.

Заключение

С применением программного обеспечения для создания трехмерной компьютерной графики Blender, системы автоматизированного проектирования AutoCAD, компилируемого языка программирования C++ разработана и практически реализована система стабилизации антенной решетки для авиационного носителя.

По результатам серии испытаний установлено, что изделие работоспособно и обеспечивает поддержание в заданном положении антенной решетки в условиях траекторной нестабильности.

Направление дальнейших исследований связано с поиском технических решений по электронной стабилизации диаграммы направленности антенной решетки за счет использования диаграммообразующих схем, которые технически могут быть реализованы с помощью трансверсальных фильтров на основе многоотводных линий задержки.

Список литературы

1. Купряшкин И.Ф. Малогабаритные многофункциональные РЛС с непрерывным частотно-модулированным излучением / И.Ф. Купряшкин, В.Л. Лихачев, Л.Б. Рязанцев // Радиотехника, 2020. – 279 с.

2. Алгоритм формирования радиолокационных изображений с субметровым разрешением в малогабаритных РЛС с синтезированной апертурой / И.Ф. Купряшкин, В.Л. Лихачев, Л.Б. Рязанцев // Цифровая обработка сигналов. – Москва, 2018. – № 2. – С. 53-58.

3. Рязанцев Л.Б. К вопросу повышения эффективности противодействия малоразмерным беспилотным летательным аппаратам / Л.Б. Рязанцев, В. Н. Похващев, М. Мохаммад // Военная мысль, 2022. – № 6. – С 45-52.

4. Серова М.Н. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн. – М. : СОЛОН-Пресс, 2022. – 272 с.

5. Герасименко А.С. Моделирование в AutoCAD 2021. Двумерные и трехмерные построения / А.С. Герасименко. – М. : ДМК-Пресс, 2021. – 706 с.

6. Лафоре Р. Объектно-ориентированное программирование в C++ / Р. Лафоре. – СПб. : Питер, 2022. – 928 с.

7. Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.arduino.ru. – Дата обращения 25.12.2024 г.

Постановка задачи прогнозирования потребностей крупного рогатого скота в кормах на основе исторических и текущих физиологических данных

Б. С. Самандаров, email: batirbeksamandarov@gmail.com

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

Аннотация. *В данной статье представлена математическая модель прогнозирования потребностей крупного рогатого скота (КРС) в кормах на основе исторических и текущих физиологических данных. Рассмотрен процесс интеграции данных, полученных в реальном времени с использованием RFID и IoT-устройств, с исторической информацией. Предложенный алгоритм включает этапы сбора данных, их подготовки, обучения модели и прогнозирования.*

Ключевые слова: *рацион кормления, машинное обучение, прогнозирование, физиологические данные, RFID, IoT, алгоритмы.*

Введение

Одной из ключевых задач современного животноводства является оптимизация рационов кормления крупного рогатого скота (КРС) с учетом их индивидуальных особенностей. Определение потребностей в кормах на основе физиологических данных играет важнейшую роль в обеспечении здоровья животных и повышении их продуктивности [1-2]. Особую значимость представляет интеграция исторических данных и информации, поступающей в режиме реального времени, что позволяет осуществлять точное прогнозирование рационов.

Кроме того, использование технологии RFID (радиочастотной идентификации) в идентификации скота значительно упрощает автоматический сбор и управление информацией в животноводстве. Системы RFID позволяют быстро идентифицировать отдельные данные о крупном рогатом скоте (например, возраст, вес, физиологическое состояние), вносить их в базу данных и отслеживать. Разработанные на основе данной технологии информационные системы автоматизируют процесс автоматического сбора и обработки данных о поголовье и принятия на их основе решений по индивидуализации рационов [3-4].

Применение алгоритмов машинного обучения (МО) для прогнозирования потребностей КРС в кормах открывает новые перспективы повышения эффективности управления в животноводстве.

© Самандаров Б. С., 2025

В данной статье предлагается математическая модель прогнозирования рационов кормления на основе исторических и текущих физиологических данных, а также алгоритм её реализации.

Формирование рациона крупного рогатого скота является ключевой областью сельского хозяйства и одним из основных факторов, влияющих на продуктивность, здоровье и благополучие скота. Сложность вопроса обусловлена необходимостью учета многих факторов, в том числе физиологических особенностей крупного рогатого скота, многочисленных возрастных изменений гематологических показателей в процессе нормального развития физиологических особенностей, экономических ограничений и экологических требований [5,6].

1. Постановка задачи

Задача определения потребностей КРС в кормах формулируется следующим образом:

Входные параметры:

– x_i — i-й физиологический показатель скота (возраст, вес, продуктивность, физиологическое состояние);

– y — суточная потребность скота в кормах (в энергетических единицах);

– D_h — исторические данные о животных;

– D_r — текущие физиологические данные, полученные в режиме реального времени.

2. Математический модель

Прогностическая модель основана на применении алгоритмов машинного обучения. Обучающая выборка состоит из следующих данных:

$$D = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), ..., (x_n, y_n)\}, \quad (1)$$

где $x_i \in R^m$ — вектор из m физиологических показателей, $y_i \in R$ — суточная потребность в кормах.

Прогнозируемое значение определяется следующей моделью:

$$\hat{y} = f(x, \theta), \quad (2)$$

где f — алгоритм машинного обучения, θ — параметры модели.

Обучение модели заключается в минимизации следующей функции потерь:

$$L(\theta)=\frac{1}{n}\sum_{i=q}^{n}\left(f\left(x_i,\theta\right)-y_i\right)^2+\lambda R(\theta), \qquad (3)$$

$R(\theta)$ — регуляризационный член, λ — коэффициент регуляризации.

3. Алгоритм решения задач

В данном исследовании предлагается комплексный алгоритм прогнозирования потребности скота в кормах, основанный на интеграции исторических и текущих данных. Процесс разработки алгоритма включает сбор данных, подготовку, обучение модели и прогнозирование.

Исследование показало, что взаимосвязь и обмен данными между различными компонентами (сущностями) (датчики Интернета вещей, база данных, модель прогнозирования и пользователь), участвующими в процессе прогнозирования потребностей в кормах для скота, играют решающую роль. Этот процесс имеет важное значение для проектирования информационной системы для изучаемой проблемы. Перед проектированием алгоритмического обеспечения решения задачи, проектируем процессы в виде диаграммы последовательности, представленной на рисунке ниже:

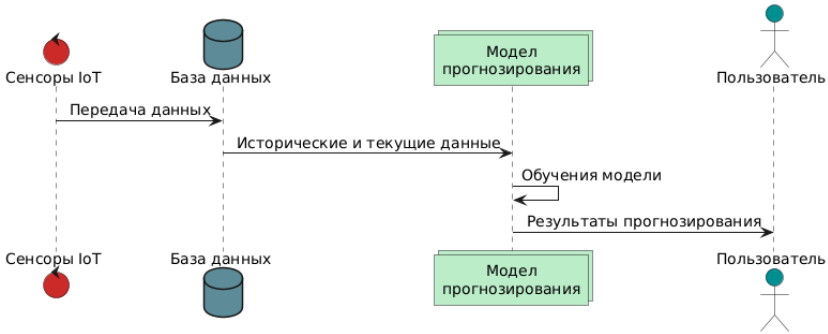


Рисунок. Поток данных и связь между компонентами

Эта диаграмма последовательности наглядно показывает поток информации между компонентами и порядок передачи и обработки данных. Диаграмма облегчает полное понимание и анализ алгоритма, визуализируя динамические процессы каждого этапа. Диаграмма последовательности является важным инструментом для правильного проектирования информационной системы, уменьшения количества ошибок и обеспечения целостности обмена информацией.

Алгоритм, используемый для прогнозирования потребности животных в кормах, позволяет автоматически обрабатывать и анализировать специализированные данные, а также эффективно организовывать процесс формирования рационов. Научный характер этого алгоритма отражается в том, что он основан на математическом моделировании данных и методах машинного обучения. Алгоритм состоит из последовательных и систематических этапов сбора данных, подготовки данных, обучения прогностической модели и анализа результатов. Такой подход важен для повышения надежности информационных систем, оптимизации рационов питания скота и достижения общей эффективности животноводства.

На основании вышеизложенного разрабатываем общую структуру алгоритма:

1. Сбор и подготовка данных
   – Формирование базы исторических данных (D_h) и данных в реальном времени (D_r).
   – Нормализация и очистка признаков.
1. Выбор алгоритма прогнозирования
   – Применение методов.
2. Обучение модели
   – Оптимизация параметров модели путём минимизации функции потерь.
2. Прогнозирование
   – Прогнозирование рационов на основе текущих данных D_r .

На основе общую структуры алгоритма формируем шаги алгоритма следующем образом:

– Сбор данных
– Сбор физиологических данных в реальном времени с использованием IoT-устройств.

3. Обучение модели
   – Создание прогнозной модели на основе D_h и D_r с использованием выбранного алгоритма машинного обучения.
4. Прогноз
   – Прогнозирование y на основе текущих данных.
5. Анализ
   – Сравнение прогнозируемых результатов с реальными данными.

Заключение

Проведённое исследование показало, что интеграция исторических и текущих физиологических данных крупного рогатого скота с

использованием алгоритмов машинного обучения позволяет значительно повысить точность прогнозирования их потребностей в кормах. Применение IoT-устройств и технологий RFID упростило процесс автоматического сбора данных и управления информацией, обеспечивая высокую скорость и точность обработки.

Результаты данного исследования могут быть использованы для создания интеллектуальных информационных систем в животноводстве, направленных на автоматизацию процессов кормления и управления стадом. В дальнейшем планируется расширение методологии за счёт включения дополнительных факторов, таких как климатические условия и динамика цен на корма, для дальнейшего повышения точности прогнозов и адаптивности системы.

Список литературы

1. Vorobyeva, N. V. Platelet function activity in black-motley calves during the dairy phase / N. V. Vorobyeva, I. N. Medvedev // BIO Web Conf. – 2020. – Vol. 17. – Article Num. 00167.

2. Glagoleva, T. I. Physiological features of aggregation of the main formed elements of blood in calves at the beginning of early ontogenesis / T.I.Glagoleva, I. N.Medvedev // . – 2020. – Vol. 17. – Article Num. 00161.

3. Samandarov, B. S. Development of a database of the livestock complex monitoring system using RFID devices / B. S.Samandarov, B.Y.Geldibayev // AIP Conf. Proc. 6 May 2024; 3147 (1): 040003.

4. Самандаров, Б. С. Задача определения местонахождения крупного рогатого скота с помощью RFID-устройств / Б.С.Самандаров, Г. А.Гулмирзаева, А. Ж.Есбергенов // Сборник статей по материалам V Международной научной конференции «МИП-V-2023: Модернизация, Инновации, Прогресс – V International Scientific Conference «MIP-V-2023: Modernization, Innovations, Progress». . – Красноярск, Россия, 13-15 сентября, 2007. – С. 45-49

5. Oshurkova, Ju. L. Functional Features of Platelets in Newborn Calves Ayrshire Breed / Ju. L.Oshurkova, I.N.Medvedev // RJPBCS. – 2018. – Vol. 9. – Iss. 6. – pp. 313-318.

6. Glagoleva, T. I. Physiological Features Of Anti-aggregational Control Of Blood Vessels Over The Shaped Elements Of Blood In Calves At The Onset Of Ontogenesis / T .I.Glagoleva, I .N.Medvedev // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. – 2019. – Vol. 10. – Iss. 2. – pp. 588-595.

Адаптированная графоаналитическая модель ветровой обстановки для северных регионов Российской Федерации

А. В. Соловьев, e-mail: av-solovev@mail.ru
К. С. Черноиваненко, e-mail: av-solovev@mail.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В данной работе рассматривается возможность применение графоаналитического моделирования в процессе прогнозирования состояния ветровой обстановки в районах с редкой сетью метеорологических станций.*

Ключевые слова: *графическая фигура, временные ряды, условная вероятность, прогнозирование, направление и скорость ветра.*

Введение

Применение беспилотной авиации при выполнении поисково-спастельных работ в труднодоступных районах значительно осложняется в сложных метеорологических условиях. Наибольшую опасность для беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) з-за своих конструктивных особенностей представляет неустойчивая ветровая обстановка. Особенно большие затруднения возникают на взлете-посадке при наличии сильного порывистого ветра.

Наиболее неустойчивая ветровая обстановка характерна для районов Арктической зоны Российской Федерации (РФ) в зимнем периоде [1]. Прогнозирование параметров ветра по данной территории осложняется за счет редкой сети метеорологических станций.

Для повышения успешности предсказания ветровой обстановки при ограниченном объеме исходных метеоданных могут быть использованы графические фигуры фиксированной длины.

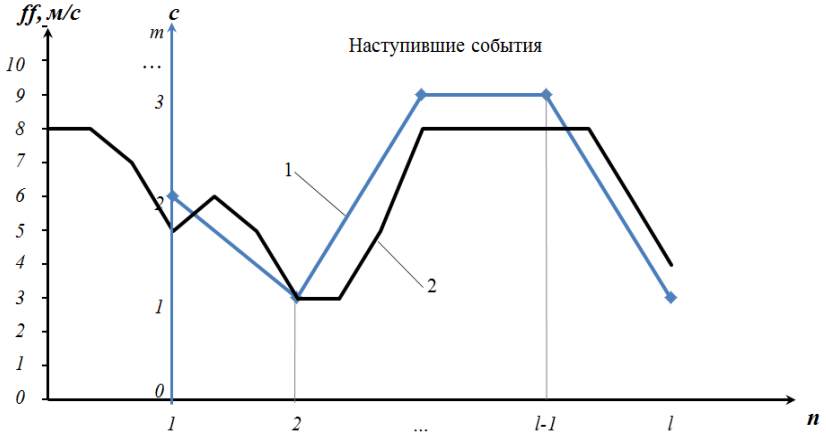
Целью работы является повышение успешности прогнозирования параметров ветра на территории Арктической зоны РФ в зимнем периоде с использованием графоаналитического моделирования.

Трехмерное сканирование – процесс, в ходе которого объекты захватываются в реальном мира и воссоздаются в виртуальном мире. В результате применения трехмерного сканирования, с относительно небольшими временными затратами создаются объекты, отвечающие самым высоким требованиям пользователей.

© Соловьев А. В., Черноиваненко К. С., 2025

1. Графоаналитическая модель изменчивости параметров приземного ветра

Ветер является векторной величиной, то есть под параметрами следует понимать скорость и направление ветра. На формирование вектора скорости приземного ветра оказывает влияние ряд внешних и внутренних факторов, которые не представляется возможным оценить в полной мере. Наиболее сложно выполнить учет данных факторов при получении метеоинформации в ограниченном объеме. По этой причине был предложен другой подход к прогнозированию параметров ветра, основанный на анализе временных рядов метеоданных с помощью графоаналитического моделирования. Главной идей, заложенной в данный вид математических моделей, является использование закономерностей поведения метеорологических величин на коротких временных рядах. Каждый подобный ряд представляет собой последовательность временных наблюдений из данных интересуемого параметра за установленные сроки (15, 30 минут, час, сутки и т.д.), имеющих фиксированную длину l. Для визуализации данные последовательности для скорости и направления ветра могут быть представлены в графическом виде. Пример типовой фигуры скорости ветра изображен на рис. 1.



1 – сформированная типовая графическая фигура для скорости ветра;
2 – фактический ряд наблюдений за скоростью ветра

Рис. 1. Схема графической фигуры фиксированной длины скорости ветра

Переход от истинных значений к номерному представлению выполняется с использованием табл. 1.

Таблица 1

Градации элементов графических фигур изменчивости ВНГО с их номерными обозначениями

№	Границы градаций значений метеовеличины	Примерная середина градации	Номерное обозначение
Направление ветра у земли			
1	$\left(\frac{180° * (2c_i - 1)}{m+1}; \frac{180° * (2c_i + 1)}{m+1}\right]$	$\overline{dd}_i = \frac{360°}{m+1} * c_i,$ при $i = 1, 2, \ldots, m+1$	$c_i = i - 1,$ при $i = 1, 2, \ldots, m+1$
Скорость ветра у земли			
1	$\left[0; \frac{9 * (3c_i + 1)}{m+1}\right]$	$\overline{ff}_i = \frac{27}{m+1} * c_i,$ при $i = 1, 2, \ldots, m+1$	$c_i = 0,$ при $i = 1$
2	$\left[\frac{9 * (3c_i - 1)}{m+1}; \frac{9 * (3c_i + 1)}{m+1}\right]$	$\overline{ff}_i = \frac{27}{m+1} * c_i,$ при $i = 1, 2, \ldots, m+1$	$c_i = i - 1,$ при $i = 2, 3, \ldots, m+1$

Формирование градации для каждого пункта номерного обозначения выполняется с учетом математического ожидания и среднеквадратического отклонения последовательности временных наблюдений. Подобные преобразования необходимы для сглаживания коротких динамических рядов длины l и исключения влияния на них «выбросов».

Каждая графическая фигура фиксированной длины в формализованном виде представляет собой комбинацию номерных обозначений количеством l. Примеры данных фигур представлены на рис. 2.

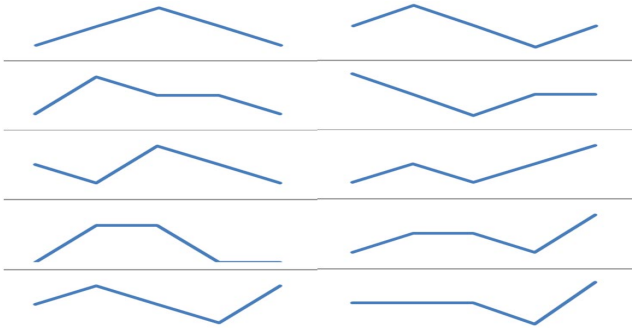


Рис. 2. Типовые графические фигуры фиксированной длины

Число и форма теоретически возможных фигур для различных значений l отличается. Количество данных фигур определяется с помощью следующего выражения [2, 5]:

$$s = \overline{A_m^l} = m^l. \tag{1}$$

Параметр s является характеристикой потенциала графоаналитической модели.

В формализованном виде все теоретически возможные графические фигуры представляются в виде матрицы номерных значений с, принадлежащих множеству [0, 1, 2, …, m]:

$$\mathbf{C} = [\mathrm{C}_1 : \ldots : \mathrm{C}_s] = \left(c_{i,j}\right)_{i,j=1}^{s,l} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \ldots & c_{1l} \\ c_{21} & c_{22} & \ldots & c_{2l} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ c_{s1} & c_{s2} & \ldots & c_{sl} \end{bmatrix}, \tag{2}$$

где $c_{i,j}$ – номерное обозначение метеорологической величины в i -ой строке, j -м столбце; C_i – i -я теоретически возможная графическая фигура длины l при $1 < i < s$.

Однако ввиду существующих климатических особенностей и физики протекания атмосферных процессов в различных районах Российской Федерации не все теоретически допустимые фигуры фиксированной длины могут наблюдаться в реальных условиях. Поэтому для определения каждой типовой фигуры для рассматриваемого атмосферного параметра необходимо определить вероятность ее появления $P_{\text{гр}}$ на доступном ряде наблюдений со схожими погодно-климатическими условиями с условиями района

проведения исследований. Значение $P_{\text{гр}}$ вычисляется с помощью следующего выражения:

$$P_{\text{гр}i} = \frac{n_i}{n}, \tag{3}$$

где n_i – i-ой графической фигуры C_i; n – общее число выявленных графических фигур на временном ряде.

В данном случае величина $P_{\text{гр}} = 0$ означает отсутствие возможности возникновения теоретически допустимой графической фигуры на временном ряде исследуемого метеопараметра.

В дальнейших исследованиях использовались метеоданные по акватории Баренцева моря и прилегающей территории. Выбор этого района для проведения исследований обусловлен разреженной сетью гидрометеорологических станций и частым наступлением сложных метеоусловий, связанных с явлениями погоды, ухудшающих дальность видимости.

При определении оптимальной длины графической фигуры для направления и скорости ветра были рассчитаны общая оправдываемость прогнозирования и средняя абсолютная ошибка. Наилучшие результаты для прогнозов с заблаговременностью до 9 часов были получены при использовании паттернов длиной в 5 сроков наблюдений.

2. Адаптация графоаналитической модели изменения параметров ветра к погодно-климатическим условиям аэродрома «Рогачево»

Использование графических фигур фиксированной длины при прогнозировании параметров ветра возможно только после выполнения процедуры ее адаптации к погодно-климатическим условиям интересуемого района. В качестве подобного района в ходе проводимого исследования рассматривался аэродром «Рогачево». Для архипелага Новая Земля в зимнем периоде свойственна крайне неустойчивая ветровая обстановка [1]. Помимо сложных погодных условий для данного региона характерно отсутствие возможности получения полноценной метеоинформации ввиду высокой разреженности сети метеорологических станций и наблюдательных постов. Представленные особенности рассматриваемого района наиболее полно соответствует условиям решаемой задачи и цели исследования.

Для формирования переходных таблиц от фактических значений параметров ветра к номерным обозначениям, выявления типовых фигур, а также построения матриц наиболее вероятностных исходов были использованы архивные материалы наблюдений за погодой с метеостанции аэродрома «Рогачево» за зимний период с 2018 по 2023 гг.

Разбиение исходной метеоинформации выполнялось следующим образом. По данным каждого месяца 2018, 2019, 2021, 2022 гг. формировалась обучающая совокупность и типовые графические фигуры фиксированной длины, остальные данные относились к контрольной выборке.

Процедура адаптации выполнялась следующим порядком. Для возможности перехода к номерным обозначениям были получены переходные таблицы. Конечный результат представлен в табл. 2.

Таблица 2

Перевод скорости и направления ветра в номерные обозначения

Система номерных обозначений									
№	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Середина градации	**0**	**3**	**6**	**9**	**12**	**15**	**18**	**21**	**24**
градации скорости ветра, м/с	[0;1]	[2;4]	[5;7]	[8;10]	[11; 13]	[14; 16]	[17;19]	[20; 22]	[23; 25]
Середина градации	0°	40°	80°	120°	160°	200°	240°	280°	320°
градации напр-ния ветра, °	(340; 20]	(20; 60]	(60; 100]	(100; 140]	(140;1 80]	(180; 220]	(220; 260]	(260; 300]	(300;3 40]

Все фактические значения направления и скорости ветра в сформированной обучающей выборке с использованием табл. 2 заменялись номерными обозначениями.

На основе данных преобразованного временного ряда с шагом $l = 3$ по принципу построения траекторной матрицы формировались графические фигуры фиксированной длины в оцифрованном виде. Аналогичным способом с использованием этого же ряда формировались фигуры длиной 4 срока (5, 6, 7 и 8 сроков).

Для выполнения расчетов условных вероятностей появления ожидаемого исхода определялась абсолютная частота появления графических фигур на рассматриваемом временном ряде. Каждый 3, 6 и 12 срок наблюдения, следующий за оцениваемой сформированной типовой фигурой, рассматривался как прогностический. Далее определялась абсолютная частота появления ожидаемого исхода по тому же материалу обучающей выборки. По полученным данным рассчитывались условные вероятности и формировалась матрица наиболее вероятностных прогностических исходов (табл. 3).

Таблица 3

Условные вероятности прогностических исходов (ожидаемых значений параметров ветра в номерном обозначении)

Графическая фигура в номерном обозначении	Прогностический период					
	tисх+3ч		tисх+6ч		tисх+12ч	
	Прогностический исход в номерном обозначении	Вероятность возникновения события	Прогностический исход в номерном обозначении	Вероятность возникновения события	Прогностический исход в номерном обозначении	Вероятность возникновения события
Направление ветра у земли						
«0000»	«0»	93%	«0»	91%	«0»	90%
«0001»	«1»	94%	«1»	92%	«0»	90%
…	…	…	…	…	…	…
Скорость ветра у земли						
«0000»	«1»	94%	«0»	93%	«1»	90%
«0001»	«1»	95%	«1»	93%	«1»	91%
…	…	…	…	…	…	…

При определении оптимальной длины типовых графических фигур были рассчитаны общая оправдываемость и средняя абсолютная ошибка прогнозов направления и скорости ветра. В совокупности наилучшие результаты были получены при $l = 5$ сроков наблюдений.

Предложенный способ предназначен для прогнозирования направления и скорости ветра на территории архипелага Новая Земля и в районах, схожих по погодно-климатическим особенностям, на основе коротких рядов наблюдений за основные сроки с заблаговременностью от 3 до 12 часов в ПМУ и СМУ.

3. Оценка успешности прогнозирования скорости и направления ветра с использованием графических фигур

Полученная графоаналитическая модель изменчивости скорости и направления ветра после выполнения процедуры адаптации к погодно-климатическим условиям района базирования аэродрома «Рогачево»

может быть применена для прогнозирования заблаговременностью до 9 часов при использовании коротких рядов наблюдений.

Для оценки успешности прогнозирования направления и скорости ветра с применением подходов графоаналитического моделирования использовались [6]:

средняя абсолютная ошибка прогноза;

общая оправдываемость прогноза при установленной допустимой погрешности.

В соответствии с установленными требованиями РД 52.27.284-91 были получены следующие значения общей оправдываемости (рис. 3).

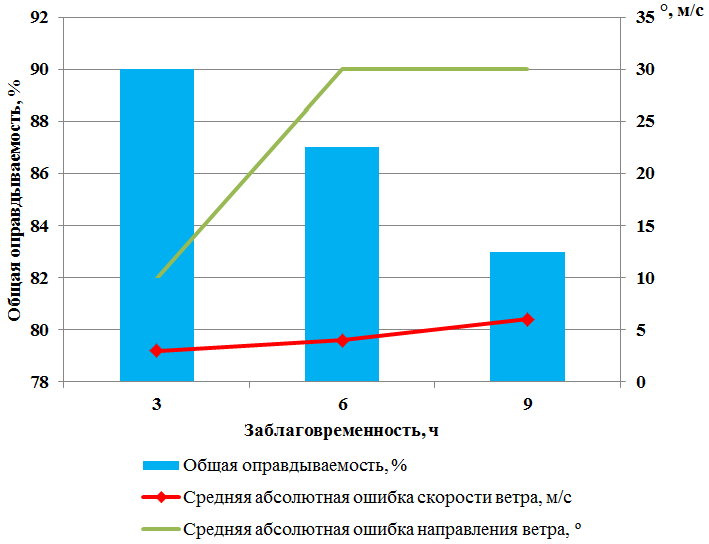


Рис. 3. Показатели качества прогнозирования направления и скорости ветра с помощью графоаналитической модели

Согласно представленной гистограмме на рис. 3 общая оправдываемость прогнозов с заблаговременностью до 3 часов составила 90 % при средней абсолютной ошибке для направления ветра – 10-20° и скорости – 2-4 м/с. При заблаговременности до 6 часов данные показатели составили 87 %, 30°, 3-5 м/с (для 9 часов – 83 %, 30°, 3-7 м/с) соответственно.

Заключение

Прогнозирование направления и скорости ветра у земли при обеспечении полетов БпЛА в северных регионах РФ с помощью

графоаналитического моделирования представляет собой перспективный подход, который может быть использован в практической деятельности. Графические фигуры фиксированной длины могут быть легко визуализированы и интерпретированы, что облегчает работу метеорологов и других специалистов. Предложенный подход позволяет осуществлять прогнозирование направления и скорости приземного ветра заблаговременностью до 9 часов в районах с редкой сетью метеорологических станций при наличии короткого ряда наблюдений за характеристиками облачности с общей оправдываемостью 83-90 %.

Список литературы

1. Семенков, Н. И. Физико-географическая характеристика архипелага Новая Земля / И.Н. Семенков. – Москва: МГУ, 2020. – 40 с.

2. Вечтомов, Е. М. Математика: логика, множества, комбинаторика : учебное пособие для вузов / Е. М. Вечтомов, Д. В. Широков. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 233 с.

3. Математическое моделирование и дифференциальные уравнения : учебное пособие для магистрантов всех направлений подготовки / М. Е. Семенов [и др.]. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. – 149 с.

4. Монсик, В. Б. Вероятность и статистика: учеб. пособие / А. А. Скрынников; В. Б. Монсик.– 4-е изд. (эл.). – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 384 с.

5. Соловьев, А. В. Использование инструментов технического анализа при разработке агрометеорологических прогнозов / И. И. Ульшин, А. Г. Буховец // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (69). – С. 149-155. DOI:10.17238.

6. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов (РД 52.27.284-91) / под ред. В. И. Кузьменко. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1991. – 151 с.

7. Панин, Б. Д. Численные методы прогноза погоды / Б. Д. Панин, П. Н. Белов, Е. П. Борисенков. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989. – 376 с.

Регрессионное моделирование атмосферных процессов на основе дисконтирования данных

А. В. Соловьев, e-mail: av-solovev@mail.ru
К. С. Черноиваненко, e-mail: av-solovev@mail.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В данной работе рассматривается возможность применение процедуры дисконтирования исходных данных при моделировании атмосферных процессов и связанных с ними параметров.*

Ключевые слова: *метеорологический дисконт, коррекция данных, временные ряды, регрессия, прогнозирование, атмосферные процессы, метеорологические параметры.*

Введение

Моделирование атмосферных процессов осложняется отсутствием возможности выявления всех факторов, оказывающих влияние на происходящие изменения в природе [2]. В области метеорологии ведется непрерывный поиск новых и совершенствование существующих способов описания погодных условий, основанных на результатах непосредственных наблюдений за физическими процессами, а также на выявленных функциональных и статистических связях [3, 4].

К одному из подходов к моделированию атмосферных процессов и связанных с ними метеорологических параметров можно отнести регрессионный анализ [1, 5]. Однако не во всех случаях представляется возможным корректно описать ожидаемые изменения на основе фактических наблюдений с помощью рассматриваемого подхода. Поэтому в рамках проводимого исследования было предложено выполнять преобразование данных, используемых как исходные, путем осуществления процедуры дисконтирования.

Целью работы является повышение качества исходной метеоинформации, используемой при регрессионном моделировании атмосферных процессов и связанных с ними параметров, путем применения процедуры дисконтирования.

© Соловьев А. В., Черноиваненко К.С., 2025

1. Дисконтирование метеорологических данных

В отличие от экономической интерпретации под термином «дисконтирование данных» в области метеорологии необходимо понимать выделение значений в исследуемом ряде метеовеличины, оказывающих наибольшее влияние на формирование дальнейшего направления тренда, с одновременным понижением значимости менее информативных элементов путем введения метеорологического дисконта.

Метеорологический дисконт – это поправочный коэффициент, повышающий или понижающий значимость (вклад) значения метеовеличины, исследуемого метеорологического ряда последовательных наблюдений.

Суть данного подхода к моделированию погодных условий заключается в выявлении закономерностей временных изменений метеорологических процессов по скорректированным значениям метеовеличин, которые характеризуют данные процессы [6]. С использованием полученных моделей возможно прогнозирование метеоэлементов при учете их характерных изменений по времени.

При раскрытии сущности понятия метеорологический дисконт стоит отметить, что динамический ряд метеовеличины X (в рассматриваемом случае высота нижней границы облаков (ВНГО)) представляют непрерывный поток дисконтированных данных. А также при условии, что прогностическое значение ВНГО является условно конечной целью в некотором бесконечном пространстве, то оно может быть записано в следующем виде:

$$X_{\text{пр}\infty} = \lim_{\tau \to \infty} \left(\int_0^{\infty} (\beta(\tau, X) \cdot f(\tau) d\tau) \right), \qquad (1)$$

где $\beta(\tau)$ – функция метеорологического дисконта; $f(\tau)$ – функция метеорологической величины; τ – временной параметр (временной аналог), представляющий собой номер периода.

Выражение (1) представляет собой в общем виде функциональную запись определения некоторого прогностического значения метеовеличины с учетом весового коэффициента (метеорологического дисконта), изменяющегося в зависимости от временных параметров. Однако, для решения практических задач подобная форма представления не применима, по причине невозможности выявления установления устойчивой функциональной зависимости ВНГО от времени и отсутствии получения бесконечного потока информации об исследуемых метеовеличинах. Поэтому для определения

метеорологического дисконта была предложена упрощенное формульное представление.

Поток информации было предложено представить в виде дискретных последовательных наблюдений на определенном промежутке времени, а функциональные зависимости в виде конкретных значений. С учетом данных упрощений выражение для определения прогностического значения метеовеличины X (ВНГО) с определенной заблаговременностью k может быть представлено следующим образом:

$$X_k = \sum_{i=1}^{m} (\beta_i(\tau, X) \cdot X_i), \qquad (2)$$

где m – временной интервал, используемый для определения прогностического значения X_k; X_i – $i-$е значение метеовеличины из динамического ряда наблюдений на интервале m.

В зависимости от значимости метеовеличин динамического ряда для прогностического значения можно выделить три ситуации: равновзвешенное состояние; приоритет конечных метеоданных ряда; наибольшая важность начальной метеоинформации.

В первом случае все метеовеличины ряда имеют равные значения относительно друг друга, во втором – наибольшую значимость для прогностического значения оказывают влияние метеоданные, полученные последними, в третьем – крайние изменения незначительны, поэтому не оказывают существенного воздействия на формирование метеовеличины в будущем.

Предложенные случаи схематично могут быть представлены следующим образом.



Рисунок. Схематическое представление распределения метеорологического дисконта в зависимости от значимости метеовеличин в исследуемом ряде

Изображенные графики могут иметь различные конфигурации, в значительной степени определяющиеся синоптической обстановкой и взаимосвязанными явлениями погоды. Распределение метеорологического дисконта может описываться не только линейно. Однако суммарно все его значения в ряде должны быть равны 1:

$$X_k = \sum_{i=1}^{m} (\beta_i(\tau, X) \cdot X_i). \quad (3)$$

На основе уравнения (3) было определено граничное условие для метеорологического дисконта. Значение $\beta(\tau, X)$ является положительным числом, которое может принимать значения не менее 0, но не более 1:

$$\beta(\tau, X) \in (0;1), \text{ при } \tau \in [1; m] \text{ и } X \in (0; \infty). \quad (4)$$

2. Выявление функциональных закономерностей изменения метеорологического дисконта на экспериментальном материале

С учетом установленного ограничения выявление функциональной зависимости $\beta(\tau, X)$ от временного аналога τ выполнялось на примере анализа временных рядов ВНГО, проводимого по данным метеорологических наблюдений со станции № 22113 (г. Мурманск) за период с января 2019 по декабрь 2023 гг. При этом величина представляет расчетное значение, полученное с использованием выбранных функций. В ходе проводимого исследования рассматривались следующие виды регрессий:

- линейная;
- квадратическая;
- кубическая;
- степенная;
- показательная;
- логарифмическая;
- гиперболическая;
- экспоненциальная.

Отбор выражений для определения метеорологического дисконта β выполнялся по расчетным данным обучающего материала. Подбор параметров β_i производился аналитическим путем с использованием программного продукта для решения систем уравнений, основанного на методе Гаусса, и соблюдением следующих условий:

$$X_k = X_1 \cdot \beta_1 + \ldots + X_i \cdot \beta_i + \ldots + X_m \cdot \beta_m;$$
$$\beta_1 + \ldots + \beta_i + \ldots + \beta_m = 1;$$
$$\beta_i \geq 0, \text{при } i \in 1, \ldots, m;$$
$$\text{для равновзвешенного состояния}: \beta_i > \beta_1, \ldots, \beta_{m-1}; \quad (5)$$
$$\text{при приоритете конечных метеоданных ряда}: \beta_i \approx \frac{1}{m};$$
$$\text{при наибольшой важности}$$
$$\text{начальной метеоинформации}: \beta_1 > \beta_2, \ldots, \beta_m.$$

По полученным значениям β_i в дальнейшем оценивалась функциональная зависимость данного параметра от X, τ и выбиралась оптимальная на основе показателей успешности.

С учетом вышесказанного были получены следующие результаты. Для складывающейся ситуации с приоритетом конечных метеоданных полученного ряда наилучшим образом изменения метеорологического дисконта возможно описать с помощью кубической функции, представленной в виде выражения:

$$\hat{\beta} = -0{,}0002\tau^3 + 0{,}0015\tau^2 - 0{,}006\tau + 0{,}1434. \quad (6)$$

Коэффициент корреляции $r_{\beta\tau}, R$ составил 0,9962, коэффициент детерминации R^2 – 0,99925, средняя относительная ошибка аппроксимации $\overline{A}$ – 0,74 %.

Для равновзвешенного состояния, при незначительных изменениях динамического ряда оптимальная функциональная зависимость представлена в виде кубической регрессии:

$$\hat{\beta} = -0{,}0001\tau^3 + 0{,}0021\tau^2 - 0{,}0096\tau + 0{,}1302. \quad (7)$$

Коэффициент корреляции $r_{\beta\tau}, R$ составил 0,9999, коэффициент детерминации R^2 – 0,99997, средняя относительная ошибка аппроксимации $\overline{A}$ – 0,09 %.

Для интервалов динамического ряда с наибольшей значимостью метеоинформации на начальных сроках наблюдения наилучшим образом изменения метеорологического дисконта возможно описать с помощью квадратической функции, представленной в виде выражения:

$$\hat{\beta} = -0{,}0009\tau^2 + 0{,}0025\tau + 0{,}1357. \quad (8)$$

Коэффициент корреляции $r_{\beta\tau}, R$ составил 0,9929, коэффициент детерминации R^2 – 0,9858, средняя относительная ошибка аппроксимации $\overline{A}$ – 1,5 %.

Наименьшая относительная ошибка аппроксимации была получена для всех типов временных рядов длиной в 5-6 сроков наблюдений и составила 0,7-1,3 %.

Заключение

На основе проведенного исследования была сформулирована новая процедура, которая в дальнейшем может использоваться в ходе метеорологического обеспечения в различных сферах деятельности. С применением предложенной процедуры, основанной на введении метеорологического дисконта, представляется возможным коррекция исходных данных, используемых при моделировании атмосферных процессов и связанных с ними параметров. Как было установлено, наилучшим образом изменения метеорологического дисконта могут быть описаны в виде квадратической, либо кубической регрессии. В представленном случае такие показатели успешности как коэффициент корреляции, коэффициент детерминации, в процентном соотношении на 15-20 %, средняя относительная ошибка аппроксимации на 2-3 % лучше по сравнению с другими рассматриваемыми функциональными зависимостями.

Полученные результаты могут иметь практическую значимость и могут быть использованы в ходе прогнозирования атмосферных параметров, характеризующих степень сложности погодных условий.

Список литературы

1. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – кн. 2. – 197 с.

2. Матвеев, Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы / Л. Т. Матвеев. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2000. – 640 с.

3. РД 52.27.284-91 Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1991. – 151 с.

4. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил [введено приказом ГК ВВС РФ от 8 сентября 1992 г. № 186]. – М.: Воениздат, 1992. – 486 с.

5. Садовникова, Н. А. Анализ временных рядов и прогнозирование / Н. А. Садовникова, Р. А. Шмойлова. – М.: МФПУ Синергия, 2016. – 152 с.

6. Соловьев, А. В. Регрессионное моделирование дальности видимости с учетом дисконтирования метеорологических данных / А. В. Соловьев, И. С. Косован // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XXIII международной научно-методической конференции, 15–17 февраля 2023 г., г. Воронеж. – Воронеж: ВГУ, 2023. – С. 425–432.

Компьютерное моделирование состояние цилиндрических тел при комбинированном воздействии

Д. И. Соломатин, e-mail: solomatin.cs.vsu.ru@gmail.com
М. А. Артемов, e-mail: artemov_m_a@mail.ru

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация. *Выполнено математическое и компьютерное моделирование, позволяющее оценить упругопластическое состояние вращающихся цилиндрических тел. Связь пластических деформаций и напряжений определяется нормальным законом. Построение математической модели проводится в рамках теории малых упругопластических деформаций. Предложенный алгоритм численного решения задачи допускает выбор любой гладкой функции пластичности. Учитывается зависимость всех параметров материала от температуры.*

Ключевые слова: *гладкая функция пластичности, ассоциированный закон пластического деформирования, температурная зависимость параметров материала, теория малых деформаций, термо-упругопластическое состояние.*

Введение

В последние годы много работ связано с рассмотрением теплового влияния на состояние цилиндрических тел [1-7]. Большая часть работ связана с выбором кусочно-линейных функций пластичности [3-7], что позволяет получить аналитическое решение ряда задач. Учет температурной зависимости упругих параметров материала, а также выбор нелинейных функций пластичности, в основном, требует численного решения задач. Настоящая статья является продолжением работы [1].

1. Принятые обозначения

$0\rho\theta z$ – цилиндрическая система координат,

b – внешний радиус цилиндра,

a – внешний радиус цилиндра,

E – модуль Юнга,

ν – коэффициент Пуассона,

α – коэффициент линейного теплового расширения,

k – предел пластичности,

© Соломатин Д. И., Артемов М. А. 2025

T – температура

p_a, T_a – давление и температура на границе $\rho = a$,

p_b, T_b – давление и температура на границе $\rho = b$,

$\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z$, – компоненты тензора напряжений,

$\varepsilon_\rho, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z$, – компоненты тензора деформаций,

$\varepsilon_\rho^p, \varepsilon_\theta^p, \varepsilon_z^p$, – компоненты тензора пластических деформаций,

u – радиальная компонента вектора перемещений.

2. Постановка задачи

Вращающаяся толстостенная круговая труба находится под тепловым и силовым воздействиями. Силовое воздействие обусловлено силами инерции и давлением на внутреннюю и внешнюю стенки цилиндра. Необходимо найти поля напряжений, деформаций и перемещений. Для решения задачи выбирается цилиндрическая система координат ρ, θ, z, ось z которой направлена по оси симметрии трубы (цилиндра). На границах $\rho = a$ и $\rho = b$ могут быть заданы разные виды нагрузок, например, тепловая нагрузка

$$T|_{\rho=a} = T_a, \quad T|_{\rho=b}\ T_b,$$

силовая нагрузка

$$\sigma_\rho|_{\rho=a} = -p_a, \quad \sigma_\rho|_{\rho=b} = -p_b,$$

кинематическая нагрузка

$$u|_{\rho=a} = u_a, \quad u|_{\rho=b} = u_b.$$

Будем рассматривать вариант, когда все параметры материала зависят от температуры

$$E = E(T), \quad \nu = \nu(T), \quad k = k(T), \quad \alpha = \alpha(T).$$

Принимается теория малых деформаций и гипотеза естественного состояния. Рассматривается случай плоского деформированного состояния. Принимается гипотеза о естественном состоянии тела.

3. Безразмерные величины

Все величины приводятся к безразмерному виду. В качестве характерного масштаба напряжений принимается значение предела пластичности на одноосное растяжение. За масштаб длины выбирается значение внешнего радиуса трубы.

4. Основные соотношения

Для рассматриваемого осесимметричного плоско-деформируемого состояния уравнение движения запишем в виде [8]

$$\rho\frac{d\sigma_\rho}{d\rho}+\sigma_\rho-\sigma_\theta+m\rho^2=0. \tag{1}$$

В случае малых деформаций полные деформации связаны с перемещениями состояния соотношения Коши

$$\varepsilon_\rho=\frac{du_\rho}{d\rho},\quad \varepsilon_\theta=\frac{u_\rho}{\rho},\quad \varepsilon_z=0. \tag{2}$$

Перемещения должны удовлетворять условию совместности деформаций

$$\rho\frac{d\varepsilon_\theta}{d\rho}+\varepsilon_\theta-\varepsilon_\rho=0. \tag{3}$$

Упругие деформации, напряжения и температура связаны линейными соотношениями Дюамеля-Неймана

$$\begin{aligned} E\varepsilon_\rho^e&=\sigma_\rho-\nu(\sigma_\theta+\sigma_z)+E\alpha T,\\ E\varepsilon_\theta^e&=\sigma_\theta-\nu(\sigma_\rho+\sigma_z)+E\alpha T,\\ E\varepsilon_z^e&=\sigma_z-\nu(\sigma_\theta+\sigma_\rho)+E\alpha T, \end{aligned} \tag{4}$$

Согласно гипотезе о естественном состоянии в упругой области упругие деформации являются полными. Если в упругой области имеются необратимые деформации, то

$$\varepsilon_z^e+\varepsilon_z^p=0\,. \tag{5}$$

Из третьего равенства (4), учитывая (5), следует, что

$$\sigma_z=\nu(\sigma_\theta+\sigma_\rho)-E\alpha T-E\varepsilon_z^p\,. \tag{6}$$

5. Поле температур

Для рассматриваемых граничных условий стационарное поле температур определяется из решения уравнения

$$F_3=0\,.$$

Если коэффициент теплопроводности $\kappa=const$, то

$$T=\frac{Ta\ln(\rho/b)-Tb\ln(\rho/a)}{\ln(a/b)}\,.$$

Если коэффициент теплопроводности $\kappa=\kappa_0(1+\delta_\kappa T)$, то

$$T = \frac{1-\sqrt{1+2\delta_\kappa (C_1 \ln\rho + C_2)}}{\delta_\kappa},$$

$$C_1 = \frac{2(T_b - T_a) + \delta_\kappa (T_a^2 - T_b^2)}{2\ln(a/b)},$$

$$C_2 = \frac{(2-\delta_\kappa T_a) T_a \ln b - (2-\delta_\kappa T_b) T_b \ln a}{2\ln(a/b)}.$$

6. Упругая область

При отсутствии необратимый деформаций в области упругого состояния тела упругие деформации являются полными. Исключая из соотношений (1), (3), (4), (6) величины $\varepsilon_\rho, \varepsilon_\theta, \sigma_\theta$ приходим к уравнению

$$\begin{cases} \rho^2 \dfrac{d^2\sigma_\rho}{d\rho^2} + \left(3 + \rho \dfrac{d}{d\rho}\left(\left(\ln(1+\nu) - \ln E\right)\right)\right)\rho \dfrac{d\sigma_\rho}{d\rho} - \\ \left(\dfrac{1+4\nu}{1+\nu^2}\rho \dfrac{d\nu}{d\rho} + \rho \dfrac{d\ln E}{d\rho}\right)\sigma_\rho + \\ \left(\dfrac{3-2\nu}{1-\nu}\right) + \rho \dfrac{d}{d\rho}\left(\ln(1-\nu^2) - \ln E\right) m\rho^2 + \dfrac{\rho E}{1+\nu^2}\dfrac{d}{d\rho}\left((1+\nu)\alpha T\right). \end{cases} \tag{7}$$

Подставив деформаций из соотношений закона Дюамеля-Неймана (4) в условия совместности деформаций (3) и, учитывая уравнение равновесия (1), получим систему уравнений

$$\begin{cases} \rho^2 \dfrac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta + m\rho^2 = 0 \\ (1-\nu)\rho \dfrac{d\sigma_\rho}{d\rho} - \nu\left(1 + 2\rho \dfrac{d\ln(\nu(1+\nu))}{d\rho}\right)\sigma_\theta + \\ \left(\nu - \rho \dfrac{d\ln(\nu(1+\nu))}{d\rho}\right)\sigma_\theta + \dfrac{\rho}{1-\nu}\dfrac{d(1+\nu)E\alpha T}{d\rho}. \end{cases} \tag{8}$$

Окружное напряжение определяется по формуле

$$\sigma_\theta = \rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho + m\rho^2.$$

В упругой области определение деформаций и перемещений связано с решением системы уравнений (2), (4).

7. Условие пластичности

Предлагаемый алгоритм решения задачи допускает выбор любого условия пластичности идеального упругопластического тела. Для определенности, в качестве примера рассматривается функция пластичности

$$F = \xi(\sigma_\rho + \sigma_\theta + \sigma_z) + \eta\left(\frac{(\sigma_\theta - \sigma_\rho)^{2n} + (\sigma_\theta - \sigma_z)^{2n} + (\sigma_z - \sigma_\rho)^{2n}}{2}\right)^{\frac{1}{2n}} +$$

$$(1-\eta)\left(\frac{(2\sigma_\rho - \sigma_\theta - \sigma_z)^{2q} + (2\sigma_\theta - \sigma_\rho - \sigma_z)^{2q} + (2\sigma_z - \sigma_\theta - \sigma_\rho)^{2q}}{2 + 2^{2q}}\right)^{\frac{1}{2q}} - k.$$

8. Пластическая область

Напряжения определяются из решения системы уравнений

$$\begin{cases} \rho\dfrac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta + m\rho^2 = 0, \\ F = 0. \end{cases}$$

Согласно ассоциированному закону пластического деформирования [8] пластические деформации связаны соотношениями

$$\varepsilon_\theta^p = \frac{\partial F / \partial \sigma_\theta}{\partial F / \partial \sigma_z}\varepsilon_z^p,$$

$$\varepsilon_\theta^p = \frac{\partial F / \partial \sigma_\theta}{\partial F / \partial \sigma_z}\varepsilon_z^p,$$

Из равенства $\varepsilon_z = \varepsilon_z^e + \varepsilon_z^p = 0$ и соотношений закона Дюамеля-Неймана следует, что

$$\varepsilon_z^p = -\sigma_z + \nu(\sigma_\theta + \sigma_\rho) - E\alpha T.$$

Перемещения определяются по формуле

$$u = \rho\varepsilon_\theta.$$

Радиус упругопластической границы можно определять, рассматривая разные варианты непрерывности искомых величин на упругопластической границе.

Приведенные соотношения, с учетом выбранных граничных условий и условий непрерывности напряжений и перемещений на упругопластической границе, позволяют получить численное решение задачи. Можно рассматривать разные алгоритмы решения задачи, но выбор конкретного алгоритма не является принципиальным моментом численного решения задачи.

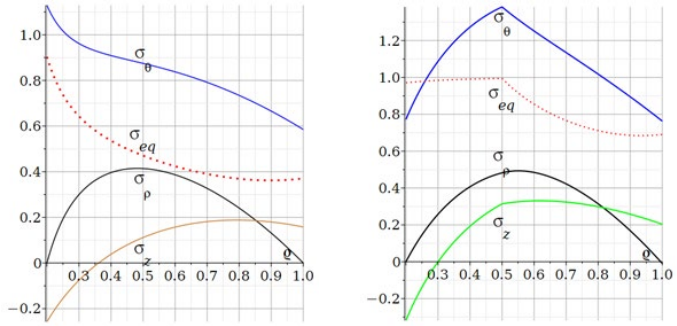
9. Результаты численного решения задачи

При выполнение численного решения задачи, для определенности, принималось, что параметры материала имеют следующую зависимость от температуры

$$E = E_0(1-\delta_E T^2),\ \nu = \nu_0(1+\delta_\nu T),\ \alpha = \alpha_0(1+\delta_\alpha T),\ k = k_0(1-\delta_k T^2) \quad (9)$$

.

На рисунке показаны графики напряжений, для разных значений параметра m и температуры. В расчетах принималось, что $E_0 = 207, \nu_0 = 0.25, k_0 = 1, \alpha_0 = 1.43\cdot 10^{-5}, T_b = 0, \delta_E = 1.56\cdot 10^{-6}$, $\delta_\nu = 2\cdot 10^{-4}$, $\delta_k = 2.5\cdot 10^{-6}$, $\delta_\alpha = 1\cdot 10^{-3}$.



a b

Рисунок. Графики напряжений. a) упругое состояние. m=2, T_a =190; b) упругопластическое состояние m=2.7, T_a =170.

Заключение

Выполненные численные расчеты для рассматриваемой задачи и выбранная математическая модель показывает, что малое изменение отдельных параметров материала в процентном отношении сопоставимо с изменениями в полях напряжений деформаций и перемещений.

Список литературы

1. Соломатин, Д.И. Компьютерное моделирование состояние цилиндрических тел при комбинированном воздействии / Д. И. Соломатин, А. А. Верлин, Р. Г. Меджидов, Ю. В. Некрасов // Материалы двадцать третьей международной конференции им. Э.К. Алгазинова «Информатика: проблемы, методы, технологии» 2023. – Воронеж. – 9 с.

2. Jahanian, S. Thermoelastoplastic and residual stresses in a hollow cylinder with temperature-dependent properties / S. Jahanian, M. Sabbaghian // J. Press. Vessel Techn. – 1990. – V. 112 – P. 85–91.

3. Eraslan, A. N. The strain hardening rotating hollow shaft subject to a positive temperature gradient / A. N. Eraslan, E. Arslan, W. Mack // Acta Mech. – 2007. – 194. – P. 191-211.

4. Дац, Е. П. Технологические температурные напряжения в процессах горячей посадки цилиндрических тел при учете пластических течений / Е. П. Дац, А. В. Ткачева // Прикладная механика и техническая физика. – 2016. – Т. 57, № 3. – С. 208-216.

5. Буренин, А. А. Об особенностях использования условия максимальных приведенных касательных напряжений в теории неустановившихся температурных напряжений / А. А. Буренин, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2018. – № 2(36). – С. 74–90.

6. Prokudin, A. N. Elastoplastic deformation of a rotating hollow cylinder with a rigid casing / A. N. Prokudin, S. V. Firsov // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2019. – N.4. – P. 120–135.

7. Prokudin, A. N. Schmidt-Ishlinskii Yield Criterion and a Rotating Cylinder with a Rigid Inclusion/ A. N. Prokudin // J. Appl. Comput. Mech. – 2021. – N. 7(2). – P. 858-869.

8. Semka, E. V. Mathematical modeling of rotating disk states, Mathematical modeling of rotating disk states / E. V.Semka, M. A. Artemov, Y. N. Babkina, E. S. Baranovskii, A. I. Shashkin // Journal of Physics: Conference Series 1479 (2020) 012122

Математическая модель выбора способа применения беспилотных летательных аппаратов при ликвидации ледяных заторов на реках

А. И. Тищенко, email: aleksei.tishenko@yandex.ru
С.В. Беспалов, email: antonn58@ya.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Ключевые слова: *В статье рассматривается методика выбора способа применения беспилотных летательных аппаратов при ликвидации ледяных заторов на реках на основе имитационного моделирования бомбометания.*

Ключевые слова: *математическая модель, беспилотный летательный аппарат, ледяной затор рек, бомбометание.*

Введение

В настоящее время борьба с ледовыми заторами на реках, в зависимости от степени сложности ситуации, ведется рядом способов, в том числе с применением авиации [1,2]. Она используется преимущественно для патрулирования, доставки бригад взрывателей в труднодоступные критические районы рек и для бомбометания по льду в этих районах. Учитывая дороговизну летного часа пилотируемого летательного аппарата [3], целесообразно для борьбы с ледяными заторами на реках использовать беспилотные летательные аппараты (БпЛА), способные производить как аэроразведку местности, так и бомбометание, тем более что стоимость летного часа этих летательных аппаратов на порядок меньше пилотируемых [3].

Эффективность использования БпЛА для борьбы с ледяными заторами зависит от способа их применения. Для грамотного принятия решения по их использованию целесообразно иметь имитационную модель ликвидации заторов беспилотными летательными аппаратами.

Целью статьи является разработка методического подхода имитационного моделирования способов применения БпЛА при бомбометании ледяных заторов рек.

1. Постановка задачи

Для решения поставленной цели сделаем некоторые допущения. На БпЛА устанавливается в качестве средства борьбы с заторами бомба, имеющая заданную мощность взрыва в тротиловом эквиваленте.

© Тищенко А. И., Беспалов С.В., 2025

Бомбометание осуществляется по критическим точкам (объектам), взлом которых обеспечит ликвидацию затора. Критические точки на рисунке представлены в виде прямоугольников. Процесс взлома льда носит вероятностный характер и описывается приведенными зонами взлома, зависящими как от мощности взрыва, так и от характеристик льда. Приведенные зоны аппроксимируются окружностями, накрытие которыми объекта обеспечивает взлом льда с определенной вероятностью. Величина вероятности взлома определяется удалением от места взрыва – радиусом приведенной зоны.

Рассмотрим зону взлома состоящую из трех приведенных зон A, B, C представленных на рис. 1. Зонам соответствуют вероятности взлома – $P_{B3A}, P_{B3B}, P_{B3C}$. Для описания факта накрытия объекта одной из приведенных зон введем систему координат, центр которой находится в геометрическом центре критических точек. Положение каждого объекта относительно геометрического центра задается вектором $\vec{r}_i = (x_i, y_i)$ (рисунок). Положение нанесенного удара бомбой с приведенными зонами относительно центра критических точек вектором $\vec{R}_\delta (x_\delta, y_\delta)$. Положение нанесенного удара бомбы относительно i -ой критической точки определяется вектором

$$\vec{R}_{k_i} \left(x_{k_i}, y_{k_i} \right) = R_\delta (x_\delta, y_\delta) + \vec{r}_{i(x,y)} x_{k_i} \qquad (1)$$

Размеры приведенных зон взлома соответствующие различным значениям вероятностей взлома льда определяются радиусами P_A, P_B, P_C

Преобразуем приведенные зоны взлома по типам в условный закон взлома. В этом случае условная вероятность взлома льда по определенному типу будет определяется отношением площадей:

$$P_A = \frac{S_A}{S}; P_B = \frac{S_B - S_A}{S}; P_C = \frac{S_C - S_B}{S} x_{k_i} x_{k_i} \qquad (2)$$

где P_A, P_B, P_C – условные вероятности взлома льда по типам A, B, C, соответственно, S_A, S_B, S_C – площади приведенных зон взлома по типам A, B, C соответственно, рассчитываемые по формуле площади круга, S – общая площадь приведенной зоны взлома льда, рассчитывается по формуле площади круга.

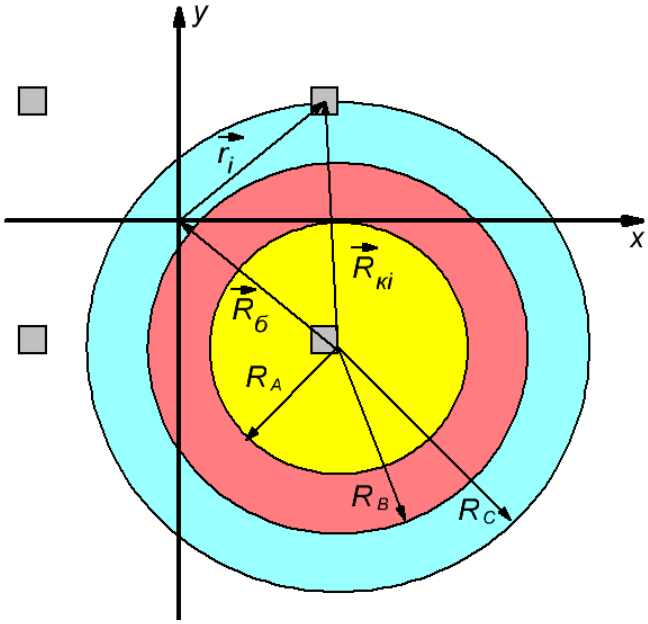


Рисунок. Приведенная зона взлома льда

Сумма условных вероятностей приведенных зон взлома должна быть равна единице, что означает достоверность события взлома льда.

Для оценки взлома затора льда на реке введем понятие индикатора взлома и соответствующую ему условную вероятность. В этом случае индикаторы взлома i -го элемента критического места по типам A, B, C, определяются следующими соотношениями:

$$I_{кi}^{A} = \begin{cases} 0, R\kappa_i > R_A \\ 1, R\kappa_i \le R_A, P_{взA} \end{cases};$$

$$I_{кi}^{B} = \begin{cases} 0, R\kappa_i > R_B \\ 1, R\kappa_i \le R_B, P_{взB} \end{cases}; \qquad (3)$$

$$I_{кi}^{C} = \begin{cases} 0, R\kappa_i > R_C \\ 1, R\kappa_i \le R_C, P_{взC} \end{cases};$$

где $I_{кi}^{A}$, $I_{кi}^{B}$, $I_{кi}^{C}$ – индикаторы взлома льда i -го объекта по типам A, B, C с соответствующими значениями вероятностей взлома льда.

В имитационном моделировании способов применения БпЛА рассмотрим три способа: одиночное применение БпЛА; одновременное применение группы БпЛА; серийное применение БпЛА.

В качестве меры о целесообразности и способе применения БпЛА для ликвидации затора льда на реке используются результаты численных исследований имитационного моделирования. Предпочтение отдается методу, который минимальным количеством БпЛА, бомб вскроет реку со 100% вероятностью.

2. Разработка модели

Имитационное моделирование одиночного бомбометания с использованием БпЛА.

При имитационном моделировании одиночного бомбометания с использованием БпЛА рассчитываются средний по всем критическим точкам индикатор взлома льда и соответствующая ему средняя оценка вероятности взлома затора. Ищется точка нанесения удара с максимальным значением средней оценки вероятности взлома затора. Если полученная вероятность менее единицы, то в этом случае принимается решение о необходимости рассмотрения результатов имитационного моделирования других способов.

Имитационное моделирование одновременного группового бомбометания с использованием группы БпЛА.

При одновременном групповом бомбометании с использованием группы БпЛА рассчитывается обобщенная зона взлома на основе объединения зон взлома отдельных бомб. В зонах перекрытий условных вероятностей взлома льда определяются совместные условные вероятности. Далее по описанной выше имитационной модели одиночного бомбометания определяется максимальная усредненная оценка условной вероятности взлома льда. Необходимое количество бомб, одновременно используемых в группе БпЛА для вскрытия реки определяется как минимальное количество летательных аппаратов, снаряженных бомбами, при котором вскрытие реки осуществится с вероятностью 1.

Имитационное моделирование серийного бомбометания с использованием БпЛА.

При серийном (последовательном) бомбометании с применением БпЛА в ходе имитационного моделирования необходимо учесть накопительный эффект воздействия взрыва бомб на прочность льда. Для его реализации необходимо фиксировать координаты взрыва каждой бомбы относительно геометрического центра критических точек и оценивать факт накрытия этих точек зонами взлома определенного типа (индикаторы поражения и вероятности взлома льда). За основу

численной модели предлагается использовать модели однородных и неоднородных Марковских цепей [4,5], описывающих изменение вероятностей состояний объекта (взлома реки) при последовательном по нему бомбометании. В качестве возможных состояний рассмотрим несовместные события A, B, C, D, причем событию D соответствует состояние полного затора реки. Переход затора из одного состояния в другое осуществляется после применения по нему очередной бомбы. Переход осуществляется из состояний с более низкой степенью вскрытия реки в состояние более высокой степенью вскрытия. Состояние A (река вскрыта) является поглощающим состоянием. Вероятности переходов зависят только от вида состояния, в котором находится ледяной залом до попадания очередной бомбы, и типа поражения взлома по определенному типу при попадании в него бомбы.

Процесс взлома льда может быть, как однородным, так и неоднородным. Если в течении времени бомбометания восстановление ледяного покрова в критических точках не происходит, кроме того они неподвижны, то в этом случае процесс можно считать однородным. В противном случае процесс неоднороден.

Математической моделью нахождения вероятностей состояний в однородном случае является рекуррентная зависимость [6],

$$p_j(k) = \sum_{i=1}^{n} p_i(k-1)\, p_{ij} \qquad (4)$$

где $p_j(k)$ – вероятность j – го состояния затора льда после k – го бомбометания (шага), $p_i(k-1)$ – вероятность i – го состояния затора льда после $(k-1)$ бомбометания (шага), $j = 1-n$, n – число состояний затора льда (для рассматриваемого случая $n = 3$), p_{ij} – переходные вероятности состояний затора льда, определяемые выражением (5).

$$\left\| p_{ij} \right\| = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix}, \sum_{j=1}^{n} p_{ij} = 1 \qquad (5)$$

Математической моделью нахождения вероятностей состояний для неоднородного случая является выражение вида (6) [6]

$$\left(p_1(k),...,p_n(k)\right)=\left(p_1(k-1),\ldots,p_n(k-1)\right)P(k),\quad k=1,2,...,\qquad (6)$$

где $\left(p_1(k),...,p_n(k)\right)$ – вектор-строка вероятностей состояний затора льда после k – го бомбометания (шага), $\left(p_1(k-1),\ldots,p_n(k-1)\right)$ – вектор строка вектор-строка вероятностей состояний затора льда после $(k-1)$ – го бомбометания (шага), $P(k)$ – матрица переходных вероятностей состояний затора льда, определяемая выражением (7)

$$P(k)=\begin{pmatrix} p_{11}(k) & \cdots & p_{1n}(k) \\ p_{21}(k) & \cdots & p_{2n}(k) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1}(k) & \cdots & p_{nn}(k) \end{pmatrix},\ \sum_{j=1}^{n} p_{ij}(k)=1 \qquad (7)$$

где

$$i=1,...,n,\quad k=1,2,...$$

Заключение

Используя за основу предложенную математическую модель можно разработать автоматизированную программу расчета выбора способа применения беспилотных летательных аппаратов при ликвидации ледяных заторов, позволяющую учесть тип беспилотного летательного аппарата, характеристики сбрасываемой бомбы, условия выполнения бомбометания, характеристики ледяного затора и так далее. Программа расчета может с успехом использоваться при планировании комплекса работ, связанных с использованием беспилотных летательных аппаратов для ликвидации ледяных заторов на реках.

Для практической реализации математической модели и программы расчета целесообразно провести дополнительные исследования с целью получения вероятностных характеристик зон взлома ледяных заторов рек от перечисленных выше условий.

Таким образом, предложен методический подход имитационного моделирования выбора способа применения беспилотных летательных аппаратов при ликвидации ледяных заторов.

Список литературы

1. Лисер, И.Я. Весенние заторы льда на реках Сибири. / И. Я. Лисер. – Гидрометеоиздат, Л., 1967. –104 с.

2. Попов, Е.Г. Гидрологические прогнозы / Е. Г. Попов. – 2-ое изд., перераб. и доп. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 257с.

3. Клочков, В.В. Управление инновационным развитием гражданского авиастроения: монография/ В.В. Клочков. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 282 с.

4. Свешников, Л.Л. Прикладные методы теории Марковских процессов: Учеб, пособие / Л. Л. Свешников. – М.: Лань, 2007. – 192 с.

5. Вентцель, Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебник для вузов / Е. С. Вентцель – М.: Высшая школа, 2003.– 480 с.

6. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 832 с.

Структура информационной системы обратной связи для миоэлектрических протезов верхней конечности

Я. А. Туровский, email: Yaroslav_turovsk@mail.ru
С. В. Борзунов, email: borzunov@cs.vsu.ru
С. С. Крупенин, email: semyon.krupenin@bk.ru

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной работе рассматривается система обратной связи в аспекте её программно-аппаратного обеспечения, необходимого для синтеза такой информационной системы применительно к миоэлектрическому протезу, а также определяются наиболее удачные с позиции программно-аппаратной реализации конфигурации датчиков, микроконтроллеров, актуаторов.*

Ключевые слова: *миографический интерфейс, миографический протез, система обратной связи.*

Введение

Несмотря на улучшение условий труда и рост роботизации производств, в настоящее время уровень травматизма все еще остается высоким. Стремление уменьшить негативные последствия травм привело к развитию биопротезирования, которое включает проектирование протезов конечностей [1]. Управление протезами с помощью электрической активности мышц обеспечивает восстановление моторных функций, но восстановить сенсорные чувства часто невозможно [2]. Системы обратной связи решают проблему восстановления сенсорных функций и позволяют управлять протезом без контроля зрения.

Системы обратной связи также важны для технологий дополненной и виртуальной реальности. Виртуальная конечность, оснащенная обратной связью, открывает новые возможности в медицине, образовании и развлечениях.

Целью данного исследования является апробация систем обратной связи в аспекте программно-аппаратного обеспечения, необходимого для синтеза информационной системы обратной связи применительно к миоэлектрическому протезу верхней конечности.

© Туровский Я. А., Борзунов С. В., Крупенин С. С., 2025

1. Реализация программно-аппаратного комплекса системы обратной связи миоэлектрического протеза

Работа программно-аппаратного комплекса системы обратной связи заключается в следующем: при взаимодействии миоэлектрического протеза с окружающей средой, система датчиков на искусственной руке фиксирует полученную информацию, которая передается на микроконтроллер, где обрабатывается и передается на систему актуаторов – тактильных стимуляторов, расположенных на носимой пользователем манжете. С различных участков кисти сигналы передают термоактуаторы, проприоцептивные актуаторы и актуаторы касания.

Схема работы системы обратной связи показана на рис. 1.

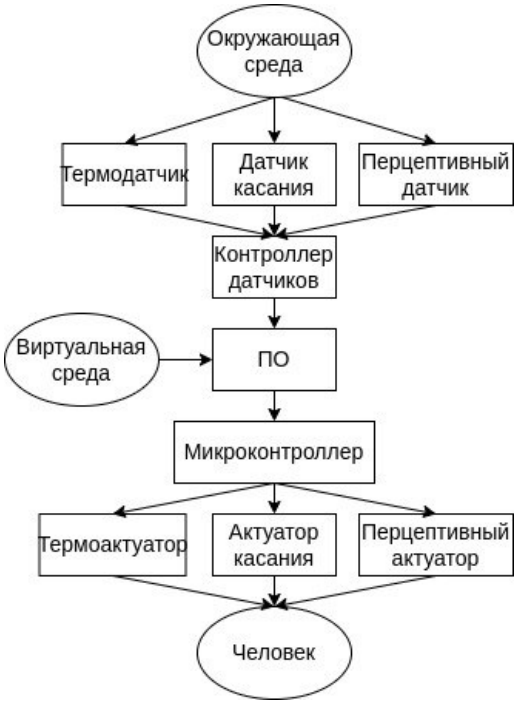
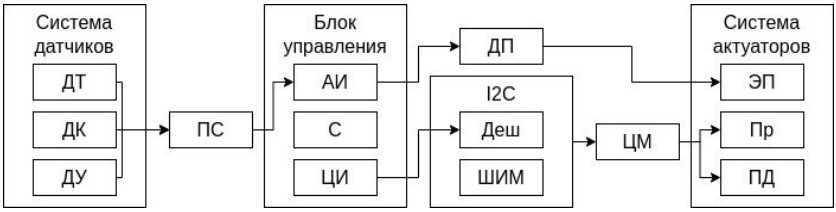


Рис. 1. Схема работы системы обратной связи

Весь комплекс системы обратной связи содержит в своем составе различные элементы, которые выполняют свои функции. Схема структуры программно-аппаратного комплекса системы обратной связи миоэлектрического протеза показана на рис. 2.



ДТ – датчик температуры; ДК – датчик касания; ДЕШ – дешифратор, задающий адрес; ДР – драйвер питания; ЦИ – цифровой интерфейс; АИ – аналоговый интерфейс; ДУ – датчик угла; ПС – преобразователь сопротивления; С – сумматор; ШИМ – контроллер широтно-импульсной модуляции; ЭП – элемент Пельтье; ЦМ – цифровой мультиплексор; МП – мостовой преобразователь; Пр – электромеханический привод; ПД – привод давления

Рис. 2. Схема программно-аппаратного комплекса системы обратной связи миоэлектрического протеза.

2. Система датчиков

Для работы разрабатываемого протеза необходим сбор информации о его положении в пространстве, а также характеристики объекта, с которым он взаимодействует. Это позволит осуществить контроль, а также корректировать работу комплекса.

Рука человека способна чувствовать свое положение в пространстве, а также определять текстуру, температуру, форму и состояние объекта [3]. В разрабатываемом комплексе для выполнения этой функции будет реализована система датчиков, собирающая информацию об углах сгиба каждого пальца для оценивания положения пальцев. Система касаний будет содержать в себе датчики, которые будут отслеживать механические взаимодействия пальцев и ладони с окружающей средой. Для фиксации температуры предметов будет использоваться температурный датчик, в данном случае термопара. Показания всех датчиков будут собираться и обрабатываться в режиме реального времени.

Расположение описанных датчиков показано на рис. 3.

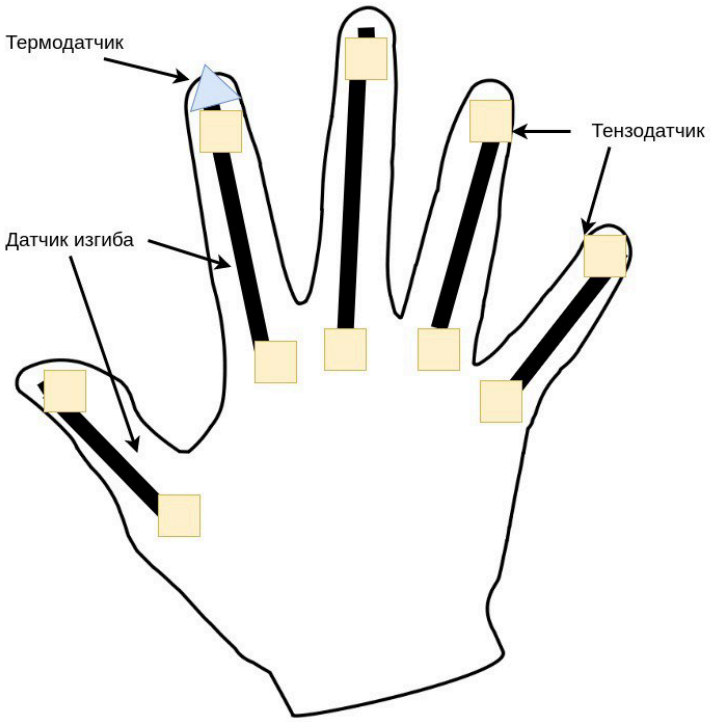


Рис. 3. Система датчиков

Разработанное решение воспроизводит ключевые системы обратной связи для миоэлектрического протеза: проприоцептивную, тактильную и температурную.

Рассмотрим датчики изгиба. В живых организмах ощущение положения и движения частей тела в пространстве обеспечивается специальной системой механорецепторов. Данные рецепторы называются проприорецепторами [4]. В разрабатываемом комплексе для выполнения функции «проприорецепторов» будут применяться тензорезистивные датчики. Эти датчики позволят непрерывно измерять положение пальца, и содержат более широкий диапазон значений угла сгиба. Тензорезистивные датчики были выбраны по причине энергоэффективности и помехоустойчивости.

Информация о температуре окружающих объектов считывается с аналогового датчика температуры. Данные о температуре способствуют разработке системы, которая сможет своевременно реагировать на потенциально опасные условия, а также корректировать значения других датчиков в зависимости от окружающей среды. Это позволит повысить точность, надежность и долговечность протеза.

Для оценки размеров объектов, с которыми взаимодействует протез, внедрена система пленочных тензорезисторов, которая содержит в себе 10 датчиков.

Также следует упомянуть: так как все датчики являются аналоговыми, то для корректного считывания значения АЦП были подобраны и собраны соответствующие делители напряжения.

3. Система актуаторов

Для передачи пользователю температурных ощущений был разработан термопривод на основе элемента Пельтье [5]. Данный элемент способен как нагреваться, так и охлаждаться при пропускании через него электрического тока. Система использует два элемента Пельтье, силовой драйвер и алгоритм управления температурой для эффективной передачи изменений температуры от протеза к коже пользователя. Проприоцептивные приводы информируют пользователя о положении пальцев протеза. Их работа аналогична термоприводам: движение пальца приводит в движение контактный ролик, который оказывает давление на кожу пользователя. Каждый из пяти пальцев оснащен отдельным электромеханическим приводом, что обеспечивает точное управление. Сенсорные приводы передают сигнал от сенсоров прикосновения через давление на кожу [6], позволяя пользователю чувствовать взаимодействие с окружающей средой. Таким образом, система создает более естественное и интуитивно понятное взаимодействие между протезом и пользователем.

Также рассматривается возможность для компактного размещения системы использовать ферромагнитную жидкость. В гибкой капсуле под воздействием магнитного поля жидкость меняет свое положение, что обеспечивает передачу физических сигналов от сенсоров прикосновения к коже пользователя. Такое решение позволяет существенно уменьшить габариты устройства и улучшить его интеграцию с протезом. Кроме того, использование ферромагнитной жидкости повышает чувствительность системы, что способствует более точному восприятию тактильных ощущений.

4. Выбор микроконтроллера

Для обеспечения стабильной работы системы обратной связи в протезе требуется использование микроконтроллеров. Эти устройства необходимы для считывания данных с датчиков, обработки полученных сигналов и их передачи на актуаторы. В процессе выбора подходящего микроконтроллера были рассмотрены различные варианты, среди которых STM32 и Arduino. В итоге был выбран микроконтроллер STM32 для дальнейшей работы. Такой выбор был обусловлен рядом преимуществ перед Arduino. К их числу относятся, например, такие: большая тактовая частота, что позволяет выполнять обработку сигналов быстрее и эффективнее; большая разрядность АЦП, чем у Arduino, а также шестнадцать входных каналов, что дает возможность считывания сигналов с большего числа датчиков; поддержка режима DMA (direct memory access, прямой доступ к памяти) [7].

Так как в задаче обратной связи важную роль играет считывание данных со входов АЦП, то необходимо было выполнить замеры скорости выполнения данной задачи для STM и Arduino. Сигналы считывались с восьми аналоговых входов, так как это максимально возможное число для Arduino. Данные, полученные из замеров, показаны на рис. 4.

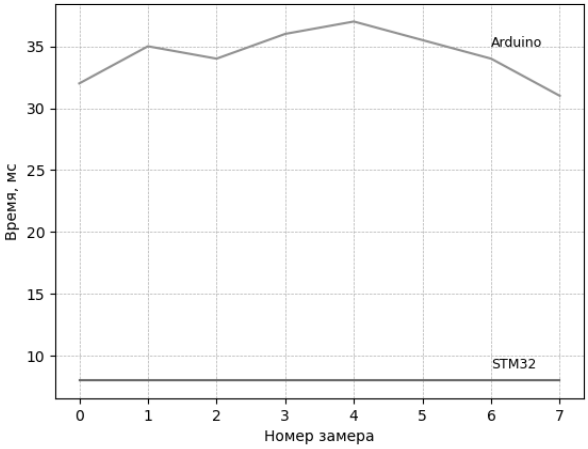


Рис. 4. Сравнение времени работы опроса датчиков

5. Обработка и передача ЭМГ-сигнала в системе обратной связи для работы миографического протеза с виртуальными объектами

Электрическая активность мышц, известная как ЭМГ-сигнал, используется для формирования управляющих команд миопротезом. Этот сигнал обрабатывается и сглаживается с помощью метода скользящего среднего [8]. После этого производится вычитание модулей сглаженного и исходного сигнала, а полученные разности суммируются, что приводит к образованию накопленной суммы. На следующем этапе эта сумма сравнивается с заранее установленными верхней и нижней границами, которые фиксируются в течение определённого времени. На основании этого сравнения определяется положение пальца, и соответствующая команда передаётся на виртуальную руку.

Каждому пальцу предоставлен отдельный канал, что позволяет пользователю контролировать его положение путём напряжения определённой мышцы, откуда поступает сигнал. Важно отметить, что при условии, если границы не обновляются, то со временем нижняя граница может увеличиваться, а верхняя – уменьшаться. Это необходимо для предотвращения потери чувствительности, которая может возникнуть в результате слишком сильного или слишком слабого напряжения, зафиксированного программой.

Виртуальная рука может сгибать каждый палец по отдельности, как частично, так и полностью. При этом «рука» взаимодействует с виртуальными объектами, имитируя их давление на виртуальные датчики, которые, в свою очередь, передают информацию на актуаторы, обеспечивая реальные воздействия на оператора, осуществляющего захват и удержание виртуального объекта. Эта система позволяет пользователю не только видеть, но и ощущать взаимодействие с окружающей средой, что значительно повышает уровень комфорта и точности управления.

Также была разработана программа, которая рассчитывает возможное количество датчиков с учетом параметров поверхности и данных, полученных с существующих датчиков. В результате работы программы была создана таблица, содержащая информацию о числе необходимых датчиков в зависимости от типа ампутации. Это позволяет индивидуализировать подход к каждому пользователю, оптимизируя настройки и улучшая функциональность миопротеза.

Таблица

Сведения о числе располагаемых датчиков в зависимости от вида ампутации

Вид ампутации	**Число термодатчиков**	**Число проприоцептивных датчиков**	**Число датчиков касания**
Кисти	8	5	38
Половины предплечья	6	5	28
Предплечья	3	5	17

Заключение

В ходе исследований была разработана и реализована система обратной связи миоэлектрического протеза верхней конечности в аспекте программно-аппаратного обеспечения. Проведен всесторонний анализ как программных, так и аппаратных реализаций решений, касающихся тактильной, проприоцептивной и температурной обратной связи. В результате исследования были выделены наиболее эффективные конфигурации датчиков, микроконтроллеров и актуаторов, учитывающие аспекты как программной, так и аппаратной реализации. Разработаны подходы к установке и размещению тактильных актуаторов на поверхности кисти, что позволяет определить оптимальное количество элементов в зависимости от индивидуальных анатомических особенностей пользователя. На основе этих разработок была создана информационная система, предназначенная для обучения пользователей работе с миоэлектрическими протезами с использованием технологий виртуальной реальности, что способствует более глубокому пониманию и освоению функционала протезов.

Полученные результаты могут быть применены для существенного расширения функциональных возможностей миоэлектрических протезов различных конструкций.

Благодарность

Авторы выражают признательность инженерам лаборатории медицинской кибернетики ФКН Миронкину А. П. и Токареву Р. А. за неоценимую помощь во всех аспектах данного исследования.

Список литературы

1. Бондарева, Л. А. Биотехнические медицинские системы терапевтического назначения / Л. А. Бондарева, А. В. Дунаев // ОрелГТУ. – 2005. 66 с.

2. Сергеев, С. В. История протезирования / С. В. Сергеев, Б. Ш. Минасов, В. О. Гришанина, М. А. Абдулхабиров // Медико-социальные проблемы инвалидности. 2017. № 2. С. 84–89.

3. Illusory, movement perception improves motor control for prosthetic hands/ P. D. Marasco [et al.] // Science translational medicine. 2018. – Vol. 10. – No. 432. Article eaao6990. DOI: 10.1126/scitranslmed.aao6990.

4. Проприорецепторы физиологические. URL: https://medbiol.ru/medbiol/anatomia/0007e0da.htm (дата обращения 16.10.2024).

5. Ueda, Y. Development of a feedback device of temperature sensation for a myoelectric prosthetic hand by using Peltier element / Y. Ueda, C. Ishii // 2016 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS). IEEE, 2016. P. 488-493. DOI: 10.1109/ICAMechS.2016.7813497

6. FW-Touch: A finger wearable haptic interface with an MR foam actuator for displaying surface material properties on a touch screen / D. [et al.] // IEEE transactions on haptics. 2019. Vol. 12, No. 3. P. 281-294. DOI: 10.1109/TOH.2019.2920349.

7. Hannan, E. J.A method for autoregressive-moving average estimation / E. J. Hannan, L. Kavalieris // Biometrika. 1984. Vol. 71, No. 2. P. 273-280.

8. Скользящее среднее (Moving Average). URL: https://wiki.loginom.ru/articles/moving-average.html#skolzyaschee-srednee-moving-average (дата обращения 15.01.2025).

Способ прогноза лесных пожаров с учетом метеорологических факторов

И. И. Ульшин, email: ulshin@rambler.ru
П. Д. Семенов

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *Рассмотрена разработка способов прогнозирования количества лесных пожаров и занимаемой ими площади в теплую половину года на территории Красноярского края. Исследовано влияние метеорологических параметров на пожароопасность региона. Получены количественные прогностические зависимости.*

Ключевые слова: *лесной пожар, степень пожароопасность, метеорологические факторы, регрессионный анализ.*

Введение

Россия входит в тройку стран – лидеров по площади лесов. На ее территории в поясе от 50 до 70 параллели находится пятая часть всех лесов мира и половина мировых хвойных лесов, что составляет более 1100 млн. га или приблизительно 70% всей площади страны.

Положительные стороны подробной ситуации очевидны. Леса снабжают население страны кислородом, являются источником различных биологических ресурсов, выполняют важную рекреационную функцию. Однако ежегодно часть этого природного богатства гибнет в лесных пожарах. По разным оценкам они занимают площадь от 0,5 до 5,5 млн. га, а число очагов возгораний достигает нескольких десятков тысяч. Предпосылками больших лесных пожаров являются малоснежная зима, длительный период без дождя с высокой среднесуточной температурой воздуха и малой относительной влажностью, грозовые разряды, а также – основная причина – умышленное или неосторожное антропогенное воздействие. Именно на пожары, возникшие по вине человека, приходится примерно 60% общей площади [1]. Способствующими факторами являются видовой состав растительности и её состояние (опасны хвойные молодняки, места сплошных рубок, отмирающие и сильно поврежденные древостои, участки бурелома и ветровала, захламленные гари, вырубки по суходолам), наличие сухой прошлогодней травы, подсохших мхов и лишайников и другие [2].

© Ульшин И. И., Семенов П. Д., 2025

1. Постановка задачи

Метеорологические факторы способны заметно повлиять как на возникновение, так и на распространение пожаров. Поэтому научные работники в этой предметной области, в том числе сотрудники Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (г. Обнинск), учитывают их при анализе пожароопасности в различных регионах и при поиске путей уменьшения горимости лесной растительности [3 и др.]. Вместе с тем, надежные количественные оценки влияния тех или иных метеорологических параметров на число очагов лесных пожаров и занимаемую им площадь пока не получены. В связи с этим целью работы является снижение ущерба от лесных пожаров за счет своевременного прогнозирования их возникновения и площади горения.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

– анализ существующих подходов к выработке оценок влияния метеофакторов на степень пожароопасности;

– выбор метода построения прогностического способа;

– получение прогностических способов (моделей) на основе архивных материалов;

– оценка успешности полученных способов на основе критериев, предусмотренных руководящими документами [4, 5].

2. Существующие подходы к оцениванию влияния метеофакторов на степень пожароопасности

Во многих странах для оценки потенциальной опасности возгорания леса применяют индекс засушливости KBDI, предложенный в 1968 году Китчем и Байрамом. В основе метода лежат пять таблиц факторов засухи. Для вычисления значения индекса KBDI для данных суток необходимо знать годовую сумму осадков в данной местности (характеристика климата), максимальную температуру воздуха в течение предыдущих суток и сумму осадков за те же сутки.

В России данный метод не применяется. Для расчета класса природной пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды используется нормативно установленное выражение (формула В.Г. Нестерова):

$$КП = \sum_{i=1}^{N} t_i (t_i - t_{di}) \qquad (1)$$

где N – число дней без дождя (считаются дни, идущие подряд, в которых количество осадков не превышает 3 мм); t_i – температура

воздуха в 12 часов по местному времени или в ближайший срок метеорологических наблюдений; t_{di} – температура точки росы в 12 часов [2, 6].

При практическом использовании данной формулы, если получены значения, не превышающие 300, можно сделать вывод, что пожарная опасность отсутствует. При увеличении значений и опасность возрастает. При значениях КП, превышающих 4000, пожарная опасность признается высокой (свыше 10000 – чрезвычайной).

Методический кабинет Гидрометцентра России рекомендует измерять температуру воздуха и точки росы в 13 (15) часов, а также дополнить выражение (1) переменной, характеризующей скорость ветра:

$$КП = \sum_{i=1}^{N} K_V t_i (t_i - t_{di}) \qquad (2)$$

где K_V – коэффициент, учитывающий скорость ветра; он изменяется от 1 при штиле до 1,48 при скорости ветра 16 м/с.

«Сброс» данного показателя при начале дождливой погоды происходит не всегда при выпадении 3 мм осадков за сутки. Если класс пожарной опасности был низким, достаточно всего 2 мм осадков, тогда как при высоком их понадобится не менее 7 мм [7].

Российскими учеными исследована возможность прогнозирования пожарной опасности и числа пожаров. В частности, на основе анализа результатов наблюдений на 1572 станциях получено регрессионное выражение для вычисления числа пожароопасных (с индексом В.Г. Нестерова, превышающим 1000) дней в месяце N_f в зависимости от среднемесячной температуры t_{cp} и месячной суммы осадков R:

$$N_f = b_t t_{cp} + b_R R + a \qquad (3)$$

Уравнение было использовано для прогнозирования лесопожарных характеристик на основе модельных прогностических значений изменения температуры воздуха и атмосферных осадков до конца XXI века по данным ГГО. По модельным прогнозам в связи с ожидаемыми изменениями температуры и количества осадков к концу XXI века число пожароопасных дней во многих регионах России возрастет на 20-40% и более. В Центральном регионе период пожароопасных дней увеличится до 77 дней, при норме 55 дней за 1981-2000 годы [8].

Следует заметить, что тесной взаимосвязи между числом пожароопасных дней разного класса и реальными лесными пожарами пока не обнаружено, но исследования выявленных нелинейных связей

показали, что общая площадь выгоревшего леса связана с числом пожароопасных дней в теплый сезон уравнением четвертой степени:

$$S = (0{,}639N + 15{,}3636)^4 \quad (4)$$

где N – число пожароопасных дней [8].

3. Выбор метода построения прогностического способа

При выполнении данной работы планировалось использовать для разработки прогнозов нейросетевые технологии, являющиеся одним из самых удобных механизмов для этой цели. Однако для правильного обучения нейронных сетей необходимо располагать архивным материалом существенного объема. По разным оценкам либо число обучающих примеров должно превышать число параметров модели более, чем в 10 раз, либо число примеров на каждую категорию должно превышать 1000 (5000 – для так называемого глубокого обучения).

Обычно результаты наблюдений за пожарами не столь многочисленны, поэтому в качестве инструмента был выбран регрессионный анализ.

4. Получение прогностических способов и оценивание их успешности

Исходя из цели работы, была поставлена задача получить способы прогнозирования количества очагов пожара и площади, занимаемой ими, с учетом метеорологических факторов. Для разработки прогностических способов были использованы данные о числе и площади пожаров в Красноярском крае за период с апреля по август 2018–2020 гг. Архивная выборка содержала также результаты синхронных наблюдений за погодой в указанный период. Объем выборки составил 366 случаев, в которые вошли наблюдения с пожарами и без них. Выборка была разделена на обучающую и контрольную в соотношении 2:1. По обучающей выборке проводилась разработка прогностических способов. По независимому материалу с помощью выражений (5) – (6) рассчитывались два показателя успешности прогнозов – средняя абсолютная (ε) и средняя квадратическая (σ) ошибки.

$$\varepsilon = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|y_{\phi i} - y_{npi}\right| \quad (5)$$

где n – объем выборки; $y_{\phi i}$ – фактическое значение прогнозируемой характеристики лесных пожаров; y_{npi} – прогнозируемое значение этой характеристики.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_{\phi i} - y_{npi}\right)^2} \qquad (6)$$

На первом этапе был составлен предварительный перечень предикторов и проведен анализ степени их взаимосвязи с прогнозируемыми величинами. В качестве предикторов использовались: накопленные за предыдущие i дней значения температуры воздуха в 13 часов t_i, i =1, …, 8; значения накопленного количества осадков h_i, i =1, …, 8; величина накопленной влажности F_i, i =1, …, 8. Результаты расчетов коэффициентов корреляции (в сокращенном виде, для наиболее сильно коррелированных величин) представлены в таблице. Число очагов пожаров обозначено как Ch, площадь – S.

Таблица

Значения парных коэффициентов корреляции между предиктантами и лучшими предикторами

Предиктант	Предикторы							
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
Ch	0,402	0,384	0,374	0,371	0,371	0,367	0,359	0,354
S	0,243	0,238	0,243	0,248	0,255	0,258	0,252	0,247

Видно, что в таблице отсутствуют характеристики количества осадков и ветрового режима. Причина заключается в их слабой взаимосвязи с предиктантами. Значения парных коэффициентов корреляции составляют от 0,088 до -0,003 для осадков и от -0,194 до -0,267 для ветра. Интересно, что ветреная погода, судя по отрицательной корреляции, при прочих равных условиях скорее снижает пожароопасность, а количество осадков в предыдущие дни вообще на возникновение пожаров не влияет.

Следует заметить, что и представленные в таблице параметры термического режима недостаточно сильно связаны с целевыми переменными.

Наличие хронологического ряда наблюдений (рис. 1) теоретически делало возможным построение нелинейного тренда с помощью полинома высокой степени либо разложение в ряды Фурье и т.п.

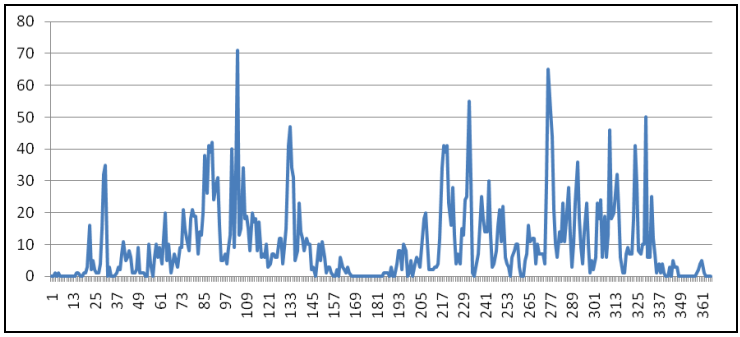


Рис. 1. Изменение количества лесных пожаров в рассматриваемый период

Однако данный подход не был реализован, т.к., по мнению авторов, возникновение лесных пожаров нельзя отнести к нормальному протеканию атмосферных процессов, и, следовательно, нецелесообразно пытаться представить соответствующую изменчивость как сумму гармоник разной амплитуды и частоты.

Уравнения регрессии для прогнозирования количества очагов пожара и их площади были получены с помощью известных электронных таблиц. К примеру, уравнения с одним предиктором имеют вид:

$$Ch = -1{,}066 + 0{,}065t_1 \quad (7)$$

$$S = -336{,}98 + 5{,}227t_6 \quad (8)$$

Показатели качества данных выражений недостаточно высоки. Коэффициент детерминации (R^2) выражения (7) равен 0,125, средняя абсолютная ошибка прогноза равна 7,8, а средняя квадратическая – 10,8. У выражения (8) показатели успешности немного ниже. При увеличении числа предикторов R^2 увеличивается до 0,21, а ошибки уменьшается до 6,3. Тем не менее, данные результаты следует признать в лучшем случае удовлетворительными.

Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать некоторые выводы.

1. Лесные пожары остаются одним из неблагоприятных природных явлений. Их возникновение чаще всего вызвано

антропогенным воздействием, однако, погодные факторы могут как снижать, так и увеличивать пожарную опасность.

2. Степень пожароопасность можно численно охарактеризовать с помощью ряда специальных показателей, в том числе указанных в нормативных правовых актах.

3. В настоящее время существуют методы прогнозирования числа пожароопасных дней и площади пожаров в следующем месяце. Однако надежного краткосрочного способа прогнозирования числа очагов лесных пожаров пока не предложено.

4. Установлена слабая связь числа возгораний в лесах Красноярского края с параметрами термического режима атмосферы. Количество осадков в течение предшествующих моменту прогнозирования дней не влияет на величину предиктанта, а сильный ветер несколько снижает пожароопасность.

5. Прогностические регрессионные зависимости характеризуются недостаточно высокими значениями показателей успешности и требуют дальнейшей доработки.

Список литературы

1. Кижнер, Л. И. Пожарная опасность в лесах томского региона: климатический фактор и экономические риски / Л. И. Кижнер, Н. К. Барашкова, О. В. Носырева // Геосферные исследования. – 2021. – № 2. – С. 110–119.

2. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 года № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды» // Российская газета. – 2011. – № 186.

3. Шерстюков, Б.Г. Лесные пожары, как метеообусловленное явление./ Б.Г. Шерстюков // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2012. – Вып. 176. – С. 326–357.

4. Руководящий документ. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Спб.: Гидрометеоиздат, 1991. – 150 с.

5. Положение об испытании и внедрении новых и усовершенствованных методов (способов) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов и расчетов. – М.: Гидрометеоиздат, 1989. – 11 с.

6. ГОСТ Р 22.1.09–99 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования». Принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 25 мая 1999 года № 181. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 9 с.

7. Расчет комплексного показателя пожарной опасности в лесах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://method.meteorf.ru/danger/fire/calculate/calculate.html.

8. Шерстюков, Б.Г. Лесные пожары на территории России при потеплении климата в XXI веке. / Б. Г. Шерстюков, А. Б. Шерстюков // Труды ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://downloads.igce.ru/publications/pemem/PEMEM25/15_Sherstyukov_Sherstyukov.pdf.

Модуль топологической оптимизации для трехмерных тел с разбиением на тетраэдры и гексаэдры на основе метода конечных элементов

Е. И. Фоменко, email: elfomenko@sfedu.ru
П. А. Оганесян

Южный федеральный университет

Аннотация. *Рассмотрены эволюционные методы топологической оптимизации и их реализация в виде модуля для пакета ACELAN-COMPOS.*

Ключевые слова: *топологическая оптимизация, метод конечных элементов.*

Введение

Оптимизация конструкций представляет собой относительно новую, но активно развивающуюся область исследования, охватывающую широкий спектр задач, направленных на повышение функциональности и экономичности проектируемых объектов. В рамках данного направления выделяют три ключевых типа задач: оптимизацию размеров, формы и топологии, которая является наиболее сложной и фундаментальной задачей.

Топологическая оптимизация использует алгоритмы для поиска наилучшего распределения материала в заданной области проектирования. Этот процесс основывается на предварительно установленных граничных условиях и наборе ограничений, таких как нагрузки, механические свойства материалов или допустимые деформации. Итоговый результат обычно имеет целью максимизацию производительности системы или минимизацию затрат при одновременном сохранении или улучшении функциональных характеристик [1].

1. Методы оптимизации топологии в пакете ACELAN-COMPOS

Для оптимизации топологии упругих и электроупругих тел в пакете ACELAN-COMPOS были реализованы два метода: Evolutionary Structural Optimization (ESO) и Bi-directional Evolutionary Structural Optimization (BESO) [4, 5]. Поведение упругих и электроупругих тел описывается следующими уравнениями и определяющими соотношениями:

© Фоменко Е. И., Оганесян П. А., 2025

$$\rho_j \omega^2 \ddot{\mathbf{u}} - \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{f}_j; \nabla \cdot \mathbf{D} = 0;$$
$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{c}_j^E \cdot\cdot \boldsymbol{\varepsilon} - \mathbf{e}_j^T \cdot \mathbf{E}; \mathbf{E} = -\nabla \varphi; \quad (1)$$
$$\mathbf{D} + \varsigma_d \dot{\mathbf{D}} = \mathbf{e}_j \cdot\cdot \boldsymbol{\varepsilon} + \boldsymbol{\mathfrak{e}}_j^S \cdot \mathbf{E}; \boldsymbol{\varepsilon} = (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)/2,$$

где $\boldsymbol{\sigma}$ – тензор напряжений, ρ_j – плотность тела, $\boldsymbol{\varepsilon}$ – тензор деформаций, $\mathbf{u}$ – вектор перемещений, $\mathbf{D}$ – вектор электрической индукции, $\mathbf{E}$ – вектор напряженности электрического поля, $\mathbf{f}_j$ – вектор массовых сил, φ – электрический потенциал, $\mathbf{c}_j^E$, $\mathbf{e}_j^T$, $\boldsymbol{\mathfrak{e}}_j^S$ – тензоры упругих констант, пьезомодулей и диэлектрических проницаемостей, индекс j отвечает номеру тела в модели.

Рассмотрим эволюционные методы оптимизации топологии [3]. Метод Evolutionary Structural Optimization (ESO) заключается в удалении лишнего материала из конструкции. Индикатором неэффективного использования материала является низкий уровень напряжений (или деформаций) в этой части. Предпочтительным является такое распределение материала, при котором уровень напряжений в конструкции близок к предельному, но безопасному значению, и распределен равномерно. Отсюда следует принцип удаления материала, согласно которому недостаточно нагруженный материал может быть удален. Для того, чтобы избежать перестроения конечноэлементной сетки, удаление материала производится путем присвоения удаляемому элементу эффективных свойств псевдоматериала, имитирующего пустоту.

При оптимизации топологии сложных конструкций важно учитывать возможность возвращения ранее удаленного материала. Такую возможность предоставляет метод двунаправленной эволюционной оптимизации BESO. В этом методе удаленные элементы с наибольшими значениями чувствительности возвращаются в систему, а заполненные элементы с минимальными значениями чувствительности – удаляются. Число удаляемых и добавляемых элементов на каждой итерации определено двумя независимыми друг от друга параметрами: коэффициентом удаления c_{rr} и коэффициентом включения c_{ir} [2].

Пакет ACELAN-COMPOS представляет собой программный пакет конечных элементов, предназначенный для решения задач со связанными полями, такими как электроупругие задачи.

Для оптимизации топологии в пакете ACELAN-COMPOS необходимо иметь модель оптимизируемого устройства, а также данные для оптимизации: максимальное количество итераций, процент удаляемого материала, количество элементов для удаления за один шаг и функцию для оценки чувствительности элемента. В качестве функции оценки чувствительности могут выступать: деформации, напряжения и перемещения. Процесс оптимизации выполняется до тех пор, пока не будет достигнуто ограничение либо не будет достигнуто максимальное число шагов оптимизации. Каждый шаг оптимизации состоит из нескольких этапов.

На первом этапе каждого шага решаются прямые задачи для каждого набора граничных условий, описывающих схему нагружения модели, и находятся значения чувствительности элементов. В качестве функции оценки чувствительности могут выступать: деформации, напряжения или перемещения.

При дискретизации непрерывной структуры на конечные элементы функция чувствительности может терпеть разрыв на границах элементов, что ведет к образованию топологии в виде «шахматного поля».

Для того чтобы избежать подобного результата используется сглаженная чувствительность элементов с фильтрацией, причем характерный размер фильтра $r_{\min}$ не меняется с изменением сеточного разбиения [2]. Величина $r_{\min}$ создает круговую подобласть Ω_i, центр которой совпадает с центром i-го элемента. Подобласть Ω_i накрывает несколько соседних элементов. Элементы, центры которых расположены внутри Ω_i создают вклад в сглаженную чувствительность i -го элемента согласно формуле

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^{K} w(r_{ij})\alpha_j^n \Big/ K \qquad (2)$$

где K – общее число узлов, содержащихся в подобласти Ω_i, и $w(r_{ij})$ – линейные веса, определяемые как

$$w(r_{ij}) = (r_{\min} - r_{ij}) / r_{\min} \qquad (3)$$

Таким образом, сглаживая значения чувствительности по всей области проектирования, схема фильтрации автоматически присваивает ненулевые значения чувствительности удаленным элементам. Для исключения значительных осцилляций минимизируемого функционала и резких изменений соответствующей топологии в итерационном

процессе используется усреднение индексов чувствительности между текущим и предыдущим шагами оптимизации [4].

$$\alpha_i = (\alpha_i^k - \alpha_i^{k+1}) / 2, \quad (4)$$

где k – номер текущей итерации. На следующей итерации полагают $\alpha_i = \alpha_i^{k+1}$ и т. д.

На втором этапе вычисляются ограничения и цель оптимизации топологии. При нахождении цели или ограничений для модели берутся пробы. В качестве проб могут выступать: объем тела, масса тела, среднее напряжение и другие интегральные характеристики. Ограничения могут оцениваться как сверху, так и снизу.

Для оптимизации методом BESO следующим этапом является возвращение удаленного материала. Исходный материал возвращается для c_{ir} удаленных элементов с максимальными значениями чувствительности.

Далее производится удаление элементов, при этом предполагается, что удаление элемента не повлияет на действующую нагрузку. Элементы содержащие узлы, на которые наложены граничные условия не подлежат удалению. Материал c_{rr} элементов с минимальными значениями чувствительности заменяется на псевдоматериал для удаления, если при удалении данного элемента не нарушается связность модели по первому материалу.

Перед удалением или возвращением материала для каждого удаляемого элемента проводится проверка: не изменится ли число компонент связности конечно-элементной сетки.

Результатом оптимизации в пакете ACELAN-COMPOS является набор файлов для каждого шага оптимизации: сетки в формате .nas для экспорта в сторонние пакеты и в собственном формате .jam на основе синтаксиса JSON для отображения в ACELAN.

2. Проведение численных экспериментов

Рассмотрим модель устройства, выполненного из керамики PZT-4. Высота и ширина составляют 10 мм, а длина – 16 мм. Для получения симметричного результирующего дизайна решаются две задачи с симметричными граничными условиями: правая грань жестко закреплена, левая смещается на -1e-4 м вдоль оси z и правая грань жестко закреплена, левая смещается на 1e-4 м вдоль оси z. В ходе исследования задача топологической оптимизации решалась двумя методами: ESO и BESO. Оптимизация проводилась до удаления 50% материала, за один шаг удалялся 1% элементов и восстанавливается в 2

раза меньше элементов. В качестве материала для удаления выступает воздух. Свойства материалов представлены в таблице. В качестве целевой функции оптимизации выступают максимальные усредненные напряжения, а в качестве ограничений: объем тела и максимальные усредненные деформации.

Таблица

Свойства материалов

	PZT-4	Air
$\rho, kg / m^3$	7500	1
$c_{11}^{E,eff}, 10^{10}, N / m^2$	13.9	13.9e-8
$c_{12}^{E,eff}, 10^{10}, N / m^2$	7.78	7.78e-8
$c_{13}^{E,eff}, 10^{10}, N / m^2$	7.43	7.43e-8
$c_{33}^{E,eff}, 10^{10}, N / m^2$	11.5	11.5e-8
$c_{44}^{E,eff}, 10^{10}, N / m^2$	2.56	2.56e-8
$e_{33}^{eff}, C / m^2$	15.1	0
$e_{31}^{eff}, C / m^2$	−5.2	0
$e_{51}^{eff}, C / m^2$	12.7	0
$\kappa_{11}^{S,eff} / \varepsilon_0$	730	1
$\kappa_{33}^{S,eff} / \varepsilon_0$	635	1

В качестве конечных элементов выступают двадцати узловые гексаэдры (рис. 1). Полученные результаты оптимизации при удалении 1% материала за шаг представлены на рис. 2.

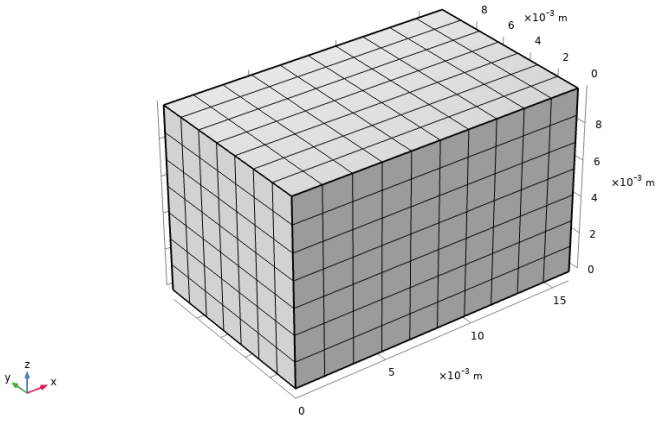


Рис. 1. Конечноэлементная сетка (490 элементов)

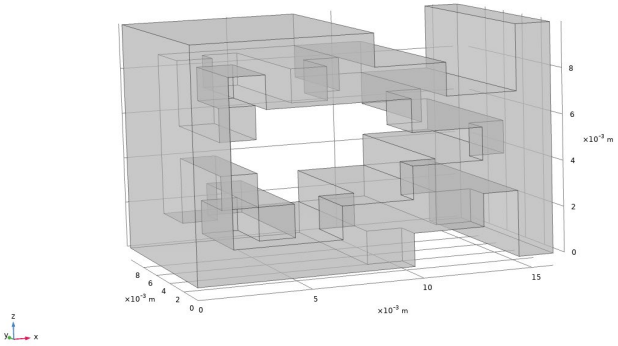


Рис. 2. Результаты оптимизации методом BESO

Заключение

В данной статье рассмотрен модуль для топологической оптимизации в пакете ACELAN-COMPOS, реализованный на основе эволюционных методов оптимизации. Разработанный модуль оптимизации может использоваться для проведения серии численных экспериментов, направленных на создание эффективных дизайнов пьезоэлектрических преобразователей.

Список литературы

1. Bendsøe, M. P. Topology Optimization: Theory, Methods and Application / M. P. Bendsøe, O. Sigmund; – M. : Berlin: Springer, 2003. – 370 p.

2. Оганесян, П. А. Оптимизация топологии конструкций в пакете Abaqus / П. А. Оганесян, С. Н. Шевцов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 6(2). – С. 543–549.

3. Huang, X. Evolutionary topology optimization of continuum structures: Methods and applications / X. Huang, Y.M. Xie; – M. : N.-Y.: Wiley, 2010. – 217 p.

4. Xia, L. Bi-directional Evolutionary Structural Optimization on Advanced Structures and Materials: A Comprehensive Review / L. Xia, Q. Xia, X. Huang, Y. M. Xie // Archives of Computational Methods in Engineering. – 2016. – № 25(2). – P. 437–478.

5. Ghabraie, K. An improved soft-kill BESO algorithm for optimal distribution of single or multiple material phases / K. Ghabraie // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2015. – № 52(4). – P. 773–790.

Автоматизированный расчет и отображение авиационно-климатического показателя степеней сложности погоды

Е. В. Шувакин, e-mail: argentina_85@mail.ru [1]
В. С. Балакин, e-mail: balakin69vs@mail.ru [2]
Ю. В. Шипко, e-mail: yshipko@mail.ru [2]

[1] ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
[2] ЦНИИ ВВС Минобороны России

Аннотация. *представлен программный комплекс расчета и отображения специализированного климатического показателя степеней сложности погоды, необходимого при метеорологическом обеспечении государственной и гражданской авиации. Исходным материалом являются архивные данные ресурса «Расписание погоды». Результат работы программы – табличная и графическая информация, отображающая в автоматизированном режиме данный показатель в различном виде, что требуется при разработке авиационно-климатического описания аэродрома.*

Ключевые слова: *автоматизированный расчет, программный комплекс, климатический показатель, степень сложности погоды.*

Введение

В метеорологическом обеспечении государственной и гражданской авиации устанавливаются так называемые степени сложности погоды – определенные погодные минимумы для взлета, посадки и полетов в сложных метеорологических условиях, – для каждого типа самолета (вертолета), аэродрома, командира воздушного судна, вида выполняемых авиационных мероприятий. Условия погоды различной степени сложности определяются сочетанием высоты нижней границы облаков (ВНГО) и метеорологической дальности видимости (МДВ). Их учет обязателен при любой деятельности авиации в целях обеспечения необходимого уровня безопасности полетов.

При разработке авиационно-климатических описаний (справок) районов аэродромов [1, 2] оперативно-прогностическим подразделением рассчитывается комплексная характеристика «Повторяемость условий погоды различной степени сложности», позволяющая судить о том, в какое время суток, в каком месяце можно ожидать благоприятные (или неблагоприятные) условия погоды для отработки авиационных задач.

© Шувакин Е. В., Балакин В. С., Шипко Ю. В., 2025

Процесс расчета данного показателя, требующий статистическую обработку и анализ большого объема многолетней метеорологической информации, отличается трудоемкостью и вероятностью ошибок разного рода, снижает оперативность получения результатов. Разрешить данное противоречие возможно путем автоматизированного расчета и отображения в различном виде показателя степеней сложности погоды в заданном районе аэродрома.

Программный комплекс и результаты его работы

Разработанный программный комплекс включает два блока: для операционных систем Windows и AstraLinux. Программные модули написаны на языке Python. Для удобства работы оператора программа имеет «оконный» интерфейс.

В качестве входной информации используются архивы данных компании «Расписание погоды» (Россия, Санкт-Петербург; имеет лицензию на деятельность в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях, представляет информацию наблюдений на станциях аэропортов более двухсот стран мира) [3]. Объединенный файл данных (с многолетним массивом значений метеорологических величин) по определенной метеостанции (в формате *.csv), включающий записи по стандартным восьми срокам, должен быть сформирован за максимально возможный период наблюдений (последних десятилетий), но не менее 5 лет [1, 2], за все месяцы каждого года.

В начале работы программы оператору предлагается загрузить файл данных по определенной метеостанции. После загрузки файла активизируется клавиша ввода входного параметра – расчетного месяца. При нажатии кнопки «Рассчитать» открывается окно с отображением таблиц результатов расчета показателя по каждому сроку данного месяца (например, табл. 1).

В табл. 2 представлена другая форма показателя – месячная повторяемость погодных условий в зависимости от значений максимального из установленных минимумов погоды для аэродрома и степеней сложности. При этом все сроки, когда значения МДВ и ВНГО менее критериальных значений вышеописанного условия, попадают в раздел «нелетные». Летные условия, в свою очередь, подразделяются в зависимости от степеней сложности, и, таким образом, представляемое распределение повторяемости может являться основой для планирования летных смен в зависимости от уровня подготовки экипажей.

Таблица 1

Повторяемость (%) летно-метеорологических условий (срок наблюдений 00 ч, январь; Воронеж, 2018–2022 гг.)

ВНГО, м	МДВ, км								
	<0,4	0,4–0,5	0,5–0,8	0,8–1	1–2	2–3	3–4	4–6	>6,0
<30	3	0	1	0	0	0	0	0	0
30–50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50–100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100–200	0	0	0	0	2	0	0	2	0
200–300	0	0	0	0	1	1	0	7	1
300–400	0	0	0	0	0	1	0	12	23
400–600	0	0	0	0	0	0	0	0	19
>600	0	0	0	0	0	1	0	2	25

Таблица 2

Повторяемость (%) летно-метеорологических условий (Воронеж, 2018–2022 гг.)

Комплекс ВНГО×МДВ, м, км		Месяц											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нелетные условия													
<100×1	Ночь	5	3	2	1	0	0	0	0	1	1	4	4
	День	4	3	2	1	0	0	0	0	0	1	5	5
Летные условия													
≥50×0,5	Ночь	96	97	98	99	100	100	100	100	99	99	97	96
	День	97	97	98	100	100	100	100	100	100	99	95	96
≥100×1	Ночь	96	97	98	99	100	100	100	100	99	99	96	96
	День	96	97	98	100	100	100	100	100	100	99	95	95
≥200×2	Ночь	91	92	96	99	100	99	99	100	99	97	90	86
	День	88	93	95	99	100	100	100	99	99	98	91	83
≥300×3	Ночь	74	82	88	97	98	99	99	99	98	94	79	64
	День	74	82	90	98	100	100	99	99	98	94	76	60
≥400×4	Ночь	41	60	77	91	95	96	97	98	96	86	59	41
	День	39	60	78	91	95	97	96	98	93	83	56	37

При нажатии кнопки «Диаграммы» представляются графические результаты расчета: диаграммы числа дней с ВНГО ниже

установленного минимума (например, рис. 1) и числа дней с МДВ менее установленного минимума (например, рис. 2), которые более наглядно, в отличие от данных табл. 2, иллюстрируют годовое распределение повторяемости составляющих установленного минимума погоды.

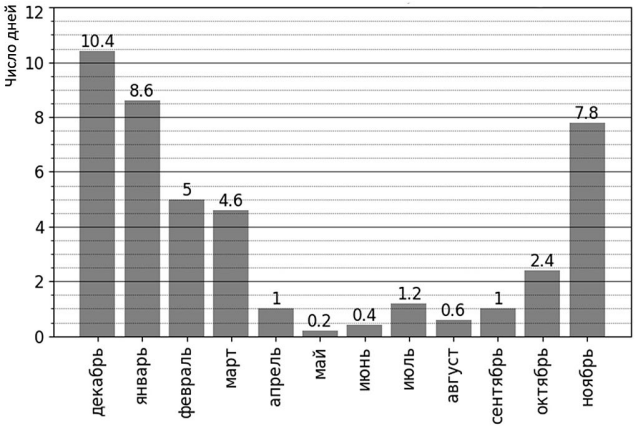


Рис. 1. Число дней с высотой нижней границы облачности ниже установленного минимума (< 100 м)

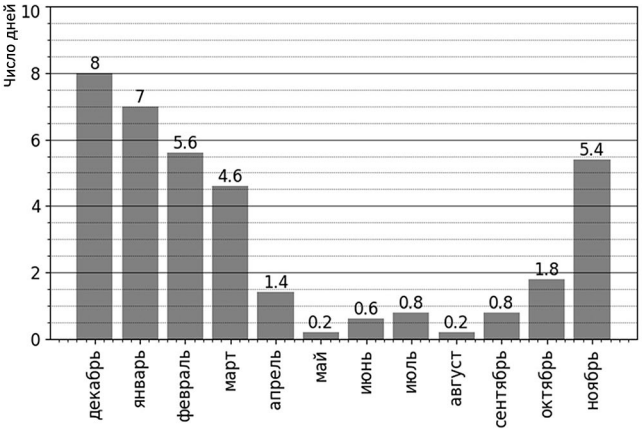


Рис. 2. Число дней с метеорологической дальностью видимости менее установленного минимума (< 1 км)

Кроме того, представляется суточно-годовой ход повторяемости летно-метеорологических условий, например, рис. 3–6, которые

отображают суточную повторяемость по месяцам года условий погоды по градациям степеней сложности. Использование таких диаграмм в авиационно-климатических описаниях позволяет более наглядно представить изменчивость численных показателей повторяемости метеоусловий.

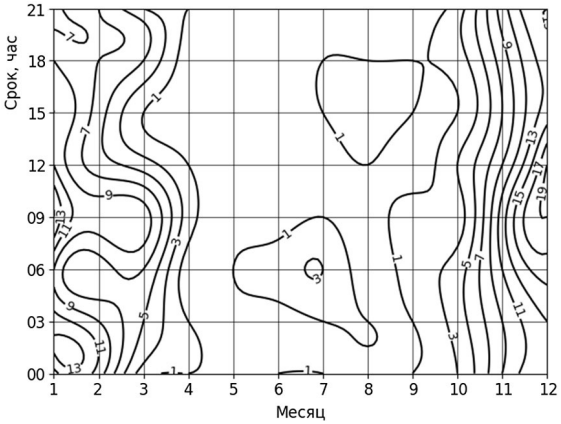


Рис. 3. Суточно-годовой ход повторяемости степени сложности погоды ≤ 100×1 (Воронеж, 2018–2022 гг.)

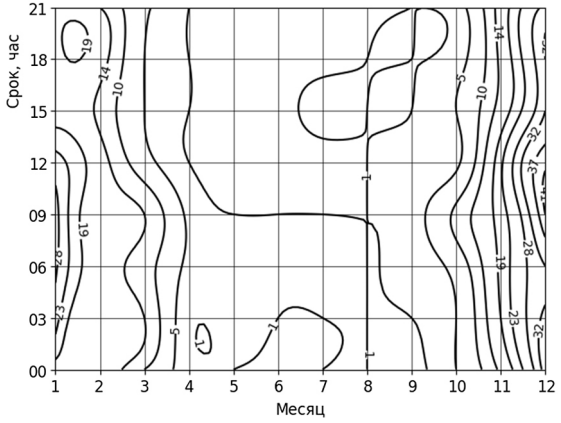


Рис. 4. Суточно-годовой ход повторяемости степени сложности погоды от 100×1 до 200×2 (Воронеж, 2018–2022 гг.)

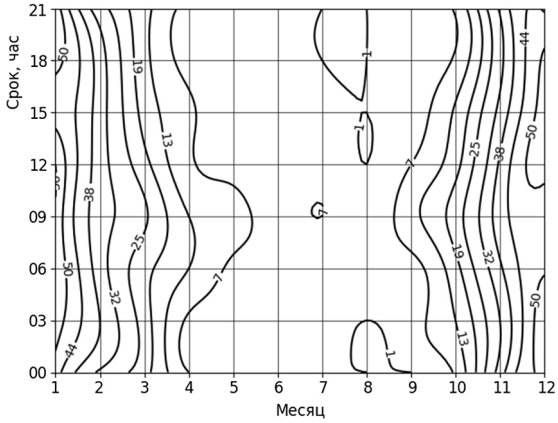


Рис. 5. Суточно-годовой ход повторяемости степени сложности погоды от 200×2 до 300×3 (Воронеж, 2018–2022 гг.)

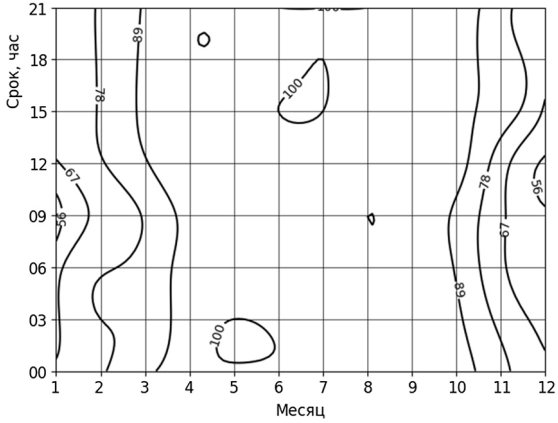


Рис. 6. Суточно-годовой ход повторяемости (%) степени сложности погоды – простые метеорологические условия

Заключение

Область применения представленного программного комплекса – авиационная климатология. Входные параметры: многомерный массив данных восьмисрочных наблюдений за основными метеорологическими параметрами на заданной метеостанции (в стандартные синоптические сроки по месяцам за период не менее пяти лет); расчетный месяц. Выходные параметры: таблицы и диаграммы специализированного

климатического показателя степеней сложности погоды (отображаются на экране монитора и сохраняются в файлах назначенной директории).

Программная реализация расчета и отображения климатического показателя степеней сложности погоды в районе аэродрома отвечает требованиям к гидрометеорологическому обеспечению государственной и гражданской авиации в современных условиях, способствует повышению качества обеспечения безопасности полетов.

Список литературы

1. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил. – М.: Военное издательство, 1992. – 488 с.

2. РД 52.21.692–2007. Требования к составлению климатического описания аэродрома [Текст]. – М.: Росгидромет, 2007. – 37 с.

3. Расписание погоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rp5.ru

Секция 3
Технологии обработки и защиты информации

Методы реализации механизма индивидуализации для программных решений «Голосовая почта» и «Оптимизация объема акустической информации»

Н. Е. Балакирев, email: balakirev1949@yandex.ru
К. А. Коновалов, email: kkonov@gmail.com
И. С. Сергеев, email: noctisik76@gmail.com

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Аннотация. *В данной работе представлены предлагаемые методы реализации механизма индивидуализации программных решений. Механизм реализуется на примере программных систем «Голосовая почта» и «Оптимизация объема акустической информации».*

Ключевые слова: *защита информации, электронный ключ, аппаратный ключ, индивидуализация.*

Введение

Статья посвящена вопросам организации индивидуального программного кода для целей персонализации каждого экземпляра программного обеспечения.

Поставленная задача предполагает уделение дополнительного внимания вопросу конфиденциальности обрабатываемых на компьютере и передаваемых по сети собеседникам сведений [1].

На примере программного обеспечения для работы со звуковыми данными отрабатывается сценарий преобразования исходных звуковых колебаний таким образом, чтобы затруднить мероприятия по перехвату и вскрытию третьей стороной. Для этих целей используется комплексный подход в выборе используемых методов и решений [2]. При данном подходе использовано несколько: собственные наработки [1; 2], в том числе основанные на собственной исследовательской деятельности [2; 3], а также общепринятые и специфические решения [4; 5; 6; 7; 8].

Комбинация внедряемых методов и решений проверяется на двух программных решениях: "Голосовая почта" и "Оптимизация объема акустической информации".

© Балакирев Н. Е., Коновалов К. А., Сергеев И. С., 2025

Индивидуализация

Данный механизм индивидуализации предлагается для организации взаимодействия участников обмена информации в рамках программного решения "Голосовая почта" и «Оптимизация объема акустической информации» таким образом, чтобы охватить задачи по своей реализации за счет механизмов использования различающихся вариантов кода программы и структур передаваемой информации и их периодического изменения [1; 2]. Или, другими словами, механизм создания уникального экземпляра программного продукта под каждого пользователя.

Определим основные используемые понятия:

– Время вскрытия ($T_В$), характеризующее временной интервал, требуемый для вскрытия информации.

– Ресурсы злоумышленника ($R_З$), характеризующее программные и аппаратные возможности, требуемые для вскрытия информации.

– Квалификация злоумышленника ($IQ_З$), определяющее его уровень компетенций.

Теперь сформулируем требования к организации создаваемых программных решений через указанные выше понятия:

– Предлагается распределенность механизмов защиты по всему пути работы с информацией [1].

– Вводится механизм контроля программного обеспечения через его индивидуализацию.

– Внедряется механизм, использующий дополнительные изменяемые параметры, называемые "водяные знаки". Поскольку создаваемые программные решения "Голосовая почта" и "Оптимизация объема акустической информации" работают в первую очередь со звуковой информацией. Модель программного решения «Голосовая почта» показана на рис. 1.

Чтобы программное решение можно было охарактеризовать как защищенное, следует реализовать её таким образом, чтобы:

– время вскрытия было больше времени существования конкретного защитного механизма ($T_В > T_З$),

– ресурсы злоумышленника были меньше ресурсов, требуемых для вскрытия ($R_В > R_З$),

– квалификация злоумышленника оказалась меньшей требуемой для вскрытия ($IQ_В > IQ_З$).

Поскольку злоумышленник ставит своей целью получение информации из локальных данных работающего программного обеспечения или передаваемого потока, он анализирует входные и выходные данные какого-то программного обеспечения или какие-то

компоненты программно-аппаратного решения, если смог получить к нему физический доступ.

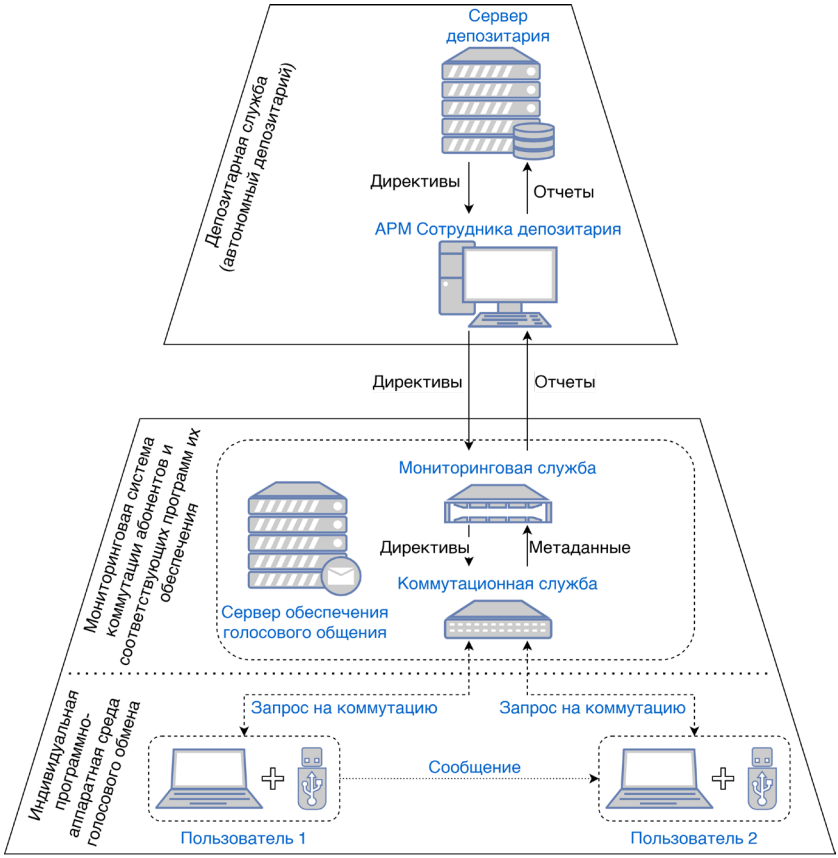


Рис. 1. Модель программного решения «Голосовая почта»

Поскольку возникла необходимость реализации механизма защищенности кода, пришли к идее индивидуализации программного обеспечения.

Чтобы механизм индивидуализации мог работать был также введен механизм учета и контроля. Данные механизмы помогают значительно увеличить требуемое для вскрытия время со стороны злоумышленника, т.е. параметр T_B. Кроме того, благодаря этому механизму стало

возможным контролировать сменяемость версий программного обеспечения при их функциональном обновлении.

Для увеличения сложности анализа входных и выходных данных были предприняты меры по использованию нестандартных способов преобразования информации, базирующихся на специальных структурах [2; 3]. Схема на рис. 2.

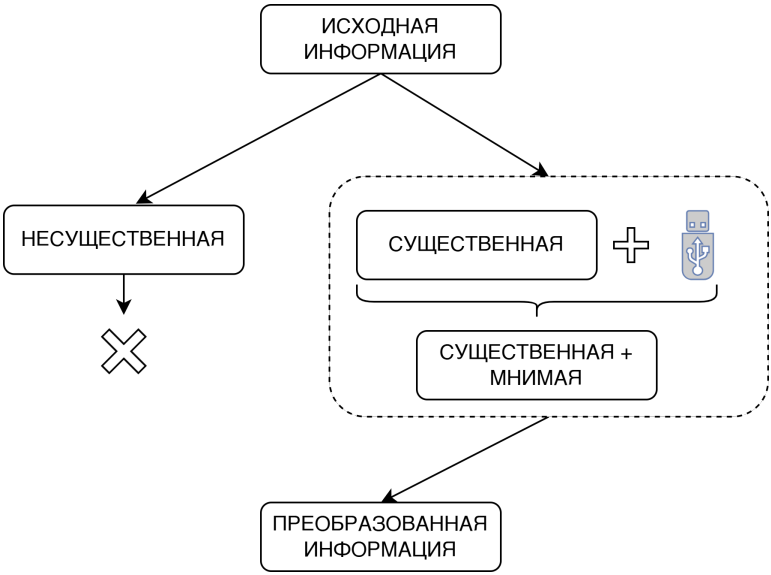


Рис. 2. Способ преобразования данных

Вся информация разбивается на существенную и несущественную части. Существенная часть выбирается таким образом, чтобы иметь возможность сохранить информационное содержание. К существенной добавляется мнимая информация (общая длина этой информации соответствует исходной). Для вскрытия требуется избавиться от мнимой информации и, через существенную, восстановить несущественную часть. Ключевым моментом является понимание структуры. Данная информация предлагается к преобразованию методами, реализуемыми внешним аппаратным модулем.

Данные изменения позволяют увеличить требуемые к вскрытию ресурсы (R_B) и квалификацию злоумышленника (IQ_B).

После безуспешной попытки вскрытия информации, будет попытка обратиться к алгоритмам программного обеспечения. Меры,

предпринятые на этом этапе, характеризуются усложнением анализа кода программного обеспечения за счет следующих действий:

– использование ассемблера для написания ключевых частей для минимизации повторяющихся участков кода.

– создание индивидуальных версий, меняя части кода, не влияя на функционал, с применением внешнего аппаратного модуля.

– ввод контроля использования индивидуальных версий программного продукта ("индивидуализация программного продукта").

Данный комплекс мер реализует:

– вариабельность кода программного продукта через индивидуализацию, в том числе перенося часть кода на внешний аппаратный модуль (увеличивая параметр R_B),

– индивидуализацию структур пакета через внешний аппаратный модуль, без изменения функциональности (увеличивая параметр IQ_B),

– возможность периодического изменения кода и структур (увеличивая параметр T_B).

Добавляемый внешний аппаратный модуль призван обеспечить вынесение критичного функционала с целью снижения влияния на рабочий процесс со стороны основного компьютера, когда подвергнуться воздействию могут рабочие процессы и данные в оперативной памяти. Процесс и обрабатываемые в этом процессе данные, находящиеся во внешнем аппаратном модуле не видны для основной работающей системы, поэтому находятся в большей сохранности. С другой стороны, просто украв и использовав у себя злоумышленник не сможет получить доступ к содержимому внешнего аппаратного модуля, т.к. имеется контроль запуска аппаратного модуля на компьютерах, т.е. на не разрешенном он не запустится. Для наглядности, индивидуализация с применением аппаратного модуля показана на рисунке 3.

Таким образом, достигаемые цели от введения индивидуализации с применением внешнего аппаратного модуля: бесполезность использования результатов вскрытия алгоритмов программного продукта, т.к. к завершению вскрытия код программного продукта уже может быть изменен. При этом периодичность изменения индивидуальных экземпляров программного продукта предлагается отработать имитацией действий злоумышленника, осуществляя сменяемость продукта в рамках правил выбранной политики, т. е. опытным путем корректируя T_B через $T_{ЗМ}$ (моделируемый $T_З$).

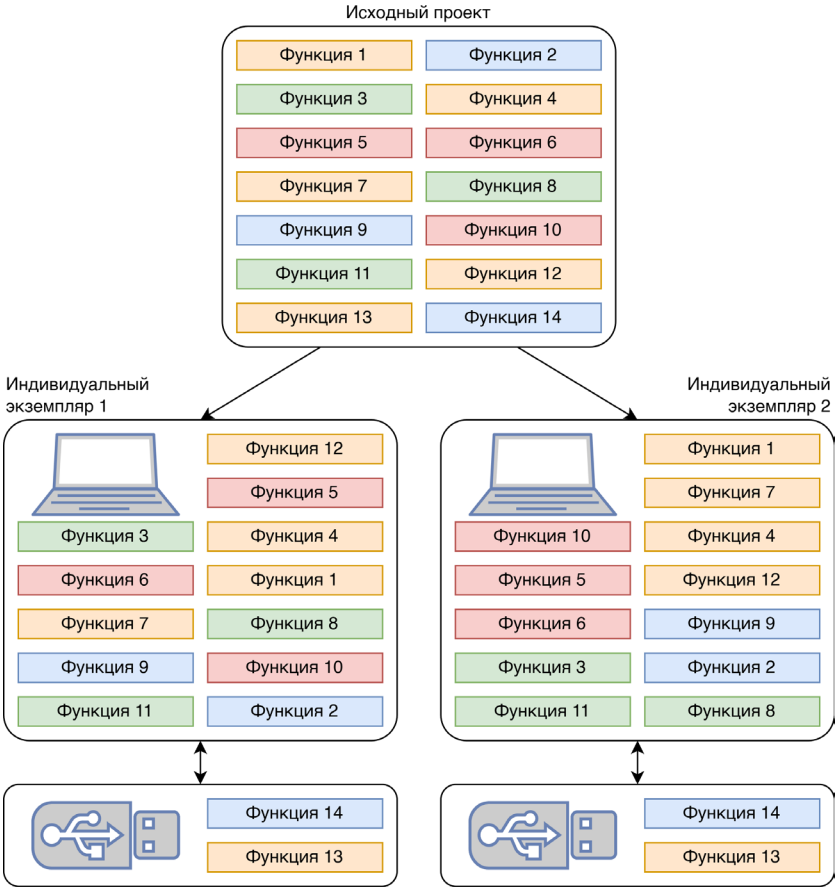


Рис. 3. Модель организации вариабельности кода и индивидуализации структур экземпляров программ

Заключение

Предложенный механизм индивидуализации должен обеспечить достижение целей в повышении качества защищенности преобразования и передачи информации.

Литература

1. Коновалов, К. А. Обеспечение защиты информации в соответствии со схемой взаимодействия компонентов / К. А. Коновалов // Труды семнадцатой международной конференции «Управление

развитием крупномасштабных систем mlsd'2024» (Москва, 24–26 Сентября 2024 г.). – Москва, 2024. – С. 1106-1111.

2. Сергеев, И. С. Разработка специфических алгоритмов уплотнения звуковой информации / И. С. Сергеев // Гагаринские чтения – 2023: Сборник тезисов докладов XLIX Международной молодежной научной конференции (Москва, 11–14 апреля 2023 г.). – Москва, 2023. – С. 331-332.

3. Фадеев, М. М. Обеспечение компьютерных исследований и физических экспериментов средствами воспроизведения получаемых результатов / М. М. Фадеев // Информатика: проблемы, методы, технологии: материалы XXIII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова (Воронеж, 15–17 февраля 2023 г.). – Воронеж, 2023. – С. 730-738.

4. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – 3-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2019. – 1048 с.

5. Загуменнов, А. П. Компьютерная обработка звука / А. П. Заугменнов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 582 с.

6. Aree A. Mohammed, Modified Phase Coding Audio Watermarking Resistant to Signal Attacks / Aree A. Mohammed, Diman M. Mohammed // International Journal of Computer Applications. – 2014. – Т 92, № 2. – С. 1-6.

7. Музычук, Д. С. Сегментация, шумоподавление и фонетический анализ в задаче распознавания речи / Д. С. Музычук, М. С. Медведев // Молодой ученый. – 2013. – № 6. – С. 86-96.

8. Актив. Работа с Guardant Code [Электронный ресурс] : Документация Guardant. – Режим доступа: https://dev.guardant.ru/pages/viewpage.action?pageId=1278008

Модификации механизмов внимания в моделях-трансформерах в задаче восстановления изображений

Н. И. Бережнов, email: beregnovnikita@yandex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе исследуются существующие модификации механизма внимания в моделях-трансформерах в задачах улучшения качества изображений. Определяются основные достоинства, недостатки и универсальность данных методов. Для решения задачи улучшения качества изображений в работе используется трансформер SwinIR и предлагается новый способ модификации механизма внимания на основе пространственного коэффициента корреляции. Оценивается его эффективность на примере датасетов изображений в плохих погодных условиях и большой степенью зашумлённости. Показано, что данный способ модификации механизма внимания улучшает качество восстановления изображений, при этом оставаясь легковесным с небольшой вычислительной сложностью, по сравнению с другими методами.*

Ключевые слова: *Нейронные сети, улучшение качества изображений, модели-трансформеры, механизм внимания, коэффициент корреляции.*

Введение

Область компьютерного зрения и задачи восстановления изображений остаются актуальными по сей день. Текущие системы обработки информации сталкиваются с трудностями при работе с сильно зашумлёнными изображениями при плохих погодных условиях. Вместо того, чтобы собирать новый датасет и обучать систему заново, исследователи задумываются о дополнительной предобработке и подачи на вход уже улучшенных изображений, что и является предметом исследования в данной работе.

В последнее время всё больше набирают популярность модели-трансформеры в задачах компьютерного зрения. Фундаментальные принципы их механизмов внимания показывают существенные результаты, сравнимые со сверточными нейронными сетями (CNN), в задачах классификации, сегментации и улучшения качества изображений. Однако исследователи сталкиваются с вычислительными трудностями при использовании механизма внимания. Сложность

© Бережнов Н. И., 2025

глобального механизма внимания пропорциональна квадрату числа пикселей, что делает его не пригодным для изображений с большим разрешением. Исследователи решают эту проблему путём использования локальных механизмов внимания, канальной информации, дробления изображения на патчи. Однако это существенно влияет на эффективность работы нейронной сети, поэтому исследователи применяют различные модификации механизма внимания, добавляют априорную и статистическую информацию к картам внимания. Целью данной работы служит анализ существующих способов модификации механизма внимания, объяснения их принципа и эффективности, а также предлагается собственная модификация механизма внимания на основе пространственного коэффициента корреляции. Оценивается эффективность данной модификации, проводится её оптимизация на основе тензорного умножения в PyTorch и CUDA.

1. Анализ известных модификаций механизма внимания

Первым трансформером в компьютерном зрении считается ViT [1]. Авторы разделяют изображения на патчи 16x16 и подают их в механизм внимания. Однако данная архитектура хорошо показала себя только в задаче классификации изображений. Для задач других классов необходимо сильно уменьшать размер патчей, что сказывается на вычислительной сложности алгоритма. Поэтому исследователи сосредотачиваются на локальных механизмах внимания, добавляя перекрытие окон [1-4] или другие алгоритмы для оценки взаимодействия между патчами. Также исследователи видоизменяют архитектуру нейронной сети, например, делают комбинацию CNN + Transformer, добавляют больше остаточных связей, уменьшают вычислительную сложность механизма внимания путём модификаций параметров окна, правил разбиения на патчи.

В работе выделяются следующие модификации механизмов внимания.

– ***XCiT (Cross-Covariance Image Transformers)*** **[5].** Его идея в том, чтобы использовать транспонированное внимание. Вычислительная сложность будет квадратично зависеть не от числа патчей, а от размерности эмбеддинга (канальной информации). Для учёта увеличения взаимодействия между соседними патчами авторы добавили дополнительные два сверточных слоя 3x3. Данный метод применим к задачам, где важны локальные взаимодействия, но не подходит для обработки изображений с сильной глобальной зависимостью между пикселями.

– ***PS-ViT (Pooling and Attention Sharing)*** **[6].** Для патчей используется пуллинг с целью уменьшения размерности, с каждым слоем размерность изображения уменьшается в два раза. Помимо этого, применяется Attention Sharing – одинаковая матрица внимания для нескольких подряд идущих слоев. Данный метод лучше всего работает в задачах, где высокая детализация некритична, из-за этого возникают трудности при обработки текстурных изображений.

VOLO (Vision Outlooker for Visual Recognition) **[7].** В методе отсутствует стандартный механизм внимания, но есть линейный слой, который преобразует входные данные в матрицу внимания. Values (V) в механизме внимания считаются как обычно. Матрица внимания состоит из сверток, получается гибрид сверточного слоя и стандартного self-attention. Данный метод эффективен в задачах классификации и распознавания, но может быть недостаточно точен для улучшения качества изображений.

– ***SwinFIR: Revisiting the SwinIR with Fast Fourier Convolution and Improved Training for Image Super-Resolution*** **[8].** Модель SwinFIR – это недавняя вариация модели SwinIR, которая использует компоненты быстрой свертки Фурье (FFC) для извлечения глобальной информации, подходящей для задачи сверхразрешения. Данный метод ресурсозатратен. Кроме того, авторами не приводятся результаты в области улучшения качества изображений.

– ***Comprehensive and Delicate: An Efficient Transformer for Image Restoration*** **[9].** Авторы используют суперпиксели для механизма внимания. Помимо обычных сверток, применяются и групповые. Кроме выделения суперпикселей в алгоритме используется канальное и пространственное внимание. Результаты от них в дальнейшем объединяются в единую карту признаков по разработанному авторами алгоритму объединения (Dual Adaptive Neural Block). Данный алгоритм сложен в настройке гиперпараметров, поэтому его трудно адаптировать под различные задачи компьютерного зрения.

– ***DAT++: Spatially Dynamic Vision Transformer with Deformable Attention*** **[10].** В статье авторы используют матрицу смещений в дополнение к механизму внимания. Матрица смещений зависит от query (Q) и прибавляется к текущим позициям патчей. Следовательно, для расчёта карт внимания используется не окно KxK, а другая область, зависящая от матрицы смещений.

– ***Key-Graph Transformer for Image Restoration*** **[11].** В данной работе применяется глобальный механизм внимания, но сравнивается только фиксированное число пикселей, которые имеют наибольшую корреляцию по входным значениям.

– ***How Powerful Potential of Attention on Image Restoration*** **[12].** Авторы предлагают убрать блоки линейного погружения. Вместо этого они используют три взаимосвязанных блока внимания с уменьшением пространственных размерностей входных данных в два раза для каждого следующего слоя.

– ***Activating More Pixels in Image Super-Resolution Transformer*** **[13].** Авторы добавляют канальный механизм внимания. Однако берут его из сверточных нейронных сетей (без K, Q, V) и прибавляют с некоторым коэффициентом к результату классического пространственного внимания трансформеров. Помимо этого, авторы группируют слои с механизмом внимания и в конце каждой группы добавляют отдельный слой внимания с перекрытием окон (похожий на Swin). Однако это увеличивает сложность алгоритма, так как помимо пространственной информации надо учитывать и канальную.

– ***Prompt-based Ingredient-Oriented All-in-One Image Restoration*** **[14].** Авторы модифицируют механизм внимания обычной аддитивной составляющей к K, Q, V до функции Softmax. Эта составляющая – обучаемый параметр. Но считается, что это уже Prompt Learning. С их специфичной архитектурой нужно дообучать только данную аддитивную составляющую, а не все слои, чтобы нейронная сеть научилась восстанавливать изображения от совершенно другого типа искажений. Для данного метода необходимо заранее знать априорную информацию об искажениях изображения.

2. SwinIR и предлагаемая модификация

В подавляющем большинстве случаев сам принцип механизма внимания остаётся неизменным. В данной работе используется модификация механизма внимания с возможностью добавления стохастической составляющей, учитывающей пространственный коэффициент корреляции:

$$Attention = SoftMax\left(\frac{QK^T}{t} + D\right)\cdot V,$$

где $K, Q, V \in R^{d\times m\times n}$, d – количество изображений в мини-пакете, t – нормировочный коэффициент, $D \in R^{m\times m}$ – тензор, используемый для внедрения информации о пространственной корреляции. Перемножение тензоров K, Q, V осуществляется по последним двум измерениям, функция Softmax применяется к последнему измерению построчно.

SwinIR [15] представляет вариацию известной архитектуры Swin Transformer [4], появление которой способствовало внедрению

трансформеров в системы компьютерного зрения. Ниже приведены ключевые особенности этой архитектуры.

Swin-блоки: Swin Transformer состоит из Swin-блоков, каждый из которых включает несколько слоев. Среди них выделяются слои внутриблочного внимания (intra-block self-attention) и межблочного внимания (inter-block self-attention). Эти блоки позволяют улавливать как локальные, так и глобальные пространственные зависимости в изображении.

Сдвиговые окна (Shifted Windows): Архитектура использует механизм сдвиговых окон с наложением внутри блоков. Это решение снижает вычислительную сложность механизма внимания, сохраняя его эффективность.

Мульти-масштабная сеть (Multi-Scale Network): Swin Transformer поддерживает несколько уровней масштабирования, что дает возможность анализировать изображения на разных уровнях детализации. Это улучшает извлечение информации на различных масштабах.

В данной работе применяется модель SwinIR [15], основанная на гибридной структуре Swin Transformer. На входе и на выходе этой нейронной сети используются сверточные слои и swin-блоки с механизмом внимания, которые объединены в группы с остаточными связями. Это способствует увеличению эффективности работы нейронной сети по сравнению с другими архитектурами.

Данная нейронная сеть имеет реализацию на фреймворке PyTorch и позволяет легко дописывать любые модификации, поэтому и была выбрана для проведения экспериментов.

3. Модификация механизма внимания на основе коэффициента пространственной корреляции

Для коэффициента пространственной корреляции между двумя любыми пикселями используется следующее приближение:

$$R_{i,j} = M[x_i x_j^T] \approx \sigma^2 r_{i,j} = \sigma^2 b^{n_x + m_y}, \quad n_x = |i_x - j_x|, \quad m_y = |i_y - j_y|,$$

где параметр b может быть изменяемым или обучаемым.

Отсюда предлагается использовать для аддитивной коррекции стандартной меры внимания величину относительной среднеквадратичной ошибки, оптимальной в классе линейных оценок $\tilde{x}_{i/j=} r_{i,j} x_j$ пикселя x_i относительно пикселя x_j, которая имеет вид:

$$\delta_{j/i} = \left(x_i - r_{i,j} x_j\right)^2 \Big/ \left(\sigma^2 - \sigma^2 r_{i,j}^2\right).$$

Величина $\delta_{j/i}$ обладает следующими свойствами.

1.Если $r_{i,j} \to 0$, то $\delta_{j/i} \to x_i^2 / \sigma^2$ т.е. для отдаленных пикселей величина $\delta_{j/i}$ вносит одинаковые коррективы в стандартную формулу внимания, пропорциональные дисперсии того пикселя, с которым сравниваются другие пиксели.

2.Если $r_{i,j} \to 1$, то $\delta_{j/i} \to 0$, т.е. для рядом стоящих пикселей величина $\delta_{j/i}$ не вносит свои коррективы в стандартную формулу внимания.

3.Если ошибка $x_i - r_{i,j} x_j$ велика и $r_{i,j} > 0$, т.е. линейная модель связи не описывает реальную ситуацию (например, если x_i или x_j находятся на границе перепада яркости), $\delta_{j/i}$ вносит существенные коррективы в стандартную формулу внимания.

4.Если $x_i = x_j$, то $\delta_{j/i} = x_i^2 (1 - r_{ij}) / \sigma^2 (1 + r_{i,j})$ вносит коррективы, увеличивающиеся по мере отдаления пикселей друг от друга (результирующее внимание увеличивается).

Чтобы избежать деления на ноль при $i = j$ или при близких к единице $r_{i,j}$ выполняется простая регуляризация:

$$\delta_{j/i} = \frac{\left(x_i - r_{i,j} x_j\right)^2 + \varepsilon}{\left(\sigma^2 - \sigma^2 r_{i,j}^2\right) + \varepsilon},$$

где ε – малое положительное значение, неспособное повлиять на результаты вычислений в других ситуациях.

Исходя из этих соотношений, получен алгоритм построения матрицы $D : D_{ij} = \delta_{j/i}$.

Нейронная сеть SwinIR уже имеет локальный механизм внимания, в рамках которого коэффициент пространственной корреляции должен меняться несильно. Следовательно, параметр b можно было подобрать оптимальным так, чтобы $r_{i,j}$ отличались друг от друга не более чем в 3 раза.

Пусть размер локального окна для механизма внимания $N \times N$. Тогда $b^{2N} = 1/3$. При размере окна в 8 пикселей значение b примерно равно 0,934. Этот параметр решено было сделать случайной величиной

с равномерным распределением от 0,90 до 0,95 и менять его для каждого слоя с механизмом внимания.

На рисунке 1 показано значение пространственных коэффициентов корреляции для $b = 0.948$.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1.0	0.94832...	0.8993159	0.8528417	0.8087691	0.7669741	0.7273389	0.689752
1	0.94832...	0.8993159	0.8528417	0.8087691	0.7669741	0.7273389	0.689752	0.65410...
2	0.8993159	0.8528417	0.8087691	0.7669741	0.7273389	0.689752	0.65410...	0.62030...
3	0.8528417	0.8087691	0.7669741	0.7273389	0.689752	0.65410...	0.62030...	0.5882492
4	0.8087691	0.7669741	0.7273389	0.689752	0.65410...	0.62030...	0.5882492	0.55785...
5	0.7669741	0.7273389	0.689752	0.65410...	0.62030...	0.5882492	0.55785...	0.52902...
6	0.7273389	0.689752	0.65410...	0.62030...	0.5882492	0.55785...	0.52902...	0.5016834
7	0.689752	0.65410...	0.62030...	0.5882492	0.55785...	0.52902...	0.5016834	0.47575...

Рисунок. Тепловая карта пространственного коэффициента корреляции. Расчет приводится для пикселя в координате (0, 0) и для патча размером 8x8.

Для ускорения расчетов был применен следующий механизм матричного умножения:

$$D = (X - X^T \otimes R)^2 / N^2,$$

где R – заранее рассчитанная матрица коэффициентов пространственной корреляции для каждого из пикселей окна размерами $N^2 \times N^2$, X – матрица значений пикселей следующего вида:

$$\begin{pmatrix} x_1 & x_1 & .. & x_1 \\ x_2 & x_2 & .. & x_2 \\ .. & .. & .. & .. \\ x_{N^2} & x_{N^2} & .. & x_{N^2} \end{pmatrix}.$$

От формулы аддитивной коррекции выражение отличается только знаменателем $\left(\sigma^2 - \sigma^2 r_{i,j}^2\right)$, зато дает высокую скорость восстановления изображений из-за уменьшения числа операций, связанных с расчетом обратной матрицы.

Нормирующий множитель N^2 нужен, чтобы матрица D была именно корректирующей составляющей, а не вносила доминирующий вклад в матрицу внимания.

Результаты качества восстановления представлены в таблице 1. Использованы два датасета: изображения из датасета ImageNet с

искусственно наложенным на них аддитивным гауссовским шумом и изображения из погодного датасета. В качестве метрик выбраны PSNR и SSIM, которые являются стандартными в области улучшения качества изображений.

Таблица 1

SwinIR. 90000 итераций обучения

Нейронная сеть	**Датасет с аддитивным гауссовским шумом**		**Погодный датасет**	
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
SwinIR + корреляционная добавка	41.0	0,94	**28.3**	0,89
SwinIR + корреляционная добавка с знаменателем N^2	**41.05**	**0.95**	28.2	**0.90**
SwinIR + корреляционная добавка с обучаемым параметром b	41.0	0,94	**28.3**	0,89
SwinIR	38.18	0.90	25.0	0.85

Полученные результаты показывают, что модификации обоих типов улучшают качество работы нейронной сети.

Заключение

Проведён анализ существующих способов модификации механизма внимания нейронных сетей трасформеров в области улучшения качества изображений. Определены границы применимости каждого из этих подходов. Предложен собственный алгоритм модификации механизма внимания на основе пространственного коэффициента корреляции. Результаты показали, что данная модификация способствует улучшению качества работы нейронной сети в задаче восстановления изображений.

В дальнейшем автором планируется проверить универсальность данного подхода на различных датасетах в области улучшения качества изображений, а также исследовать степень его применимости в зависимости от уровня, накладываемых помех и погодных искажений.

Список литературы

1. Бережнов, Н.И. Универсальный алгоритм улучшения изображений с использованием глубоких нейронных сетей / Н.И. Бережнов, А.А. Сирота // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2022. – №2 – С. 81-92.

2. Бережнов, Н. И. Совершенствование механизмов внимания для архитектуры трансформер в задачах повышения качества изображений / Н. И. Бережнов, А. А. Сирота // Компьютерная оптика. – 2024. – Т. 48, № 5. – С. 726–733.

3. Dosovitskiy, A. An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. / A. Dosovitskiy // arXiv preprint arXiv:2010.11929. – 2020.

4. Liu, Z. Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows / Z. Liu // Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. – 2021. – C. 10012-10022.

5. Ali, A. Xcit: Cross-covariance image transformers / A. Ali [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2021. – Vol. 34. – P. 20014–20027.

6. Chen, B. Psvit: Better vision transformer via token pooling and attention sharing / B. Chen [et al.] // arXiv preprint arXiv:2108.03428. – 2021.

7. Yuan, L. Volo: Vision outlooker for visual recognition / L. Yuan [et al.] // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2022. – Vol. 45, № 5. – P. 6575–6586.

8. Zhang, D. Swinfir: Revisiting the swinir with fast Fourier convolution and improved training for image super-resolution / D. Zhang // arXiv preprint arXiv:2208.11247. – 2022.

9. Comprehensive and delicate: An efficient transformer for image restoration / H. Zhao [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2023. – P. 14122–14132.

10. DAT++: Spatially Dynamic Vision Transformer with Deformable Attention / Z. Xia [et al.] // arXiv preprint arXiv:2309.01430. – 2023.

11. Key-Graph Transformer for Image Restoration / B. Ren [et al.] // arXiv preprint arXiv:2402.02634. – 2024.

12. How Powerful Potential of Attention on Image Restoration? / C. Wang [et al.] // arXiv preprint arXiv:2403.10336. – 2024.

13. Activating more pixels in image super-resolution transformer / X. Chen [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2023. – P. 22367–22377.

14. Prompt-based Ingredient-Oriented All-in-One Image Restoration / H. Gao [et al.] // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2024.

15. Liang, J. Swinir: Image restoration using swin transformer / J. Liang // Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. – 2021. – C. 1833-1844.

Модель реализации угроз безопасности на основе уязвимостей веб-интерфейсов типа «SQL Injection»

С. А. Будников, email: public.buser@bk.ru
И. А. Бузуев, email: ilyabuzuev@outlook.com
А. С. Суховерхов, email: mostom84@mail.ru

ФАУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России»

Аннотация. *В данной работе разработана модель компьютерной атаки типа «SQL Injection», эксплуатирующей уязвимости, связанные с недостатками проверки вводимых данных, основанной на представлении процесса атаки случайным марковским процессом с дискретными состояниями и непрерывным временем и последующим решением системы дифференциальных уравнений.*

Ключевые слова: *SQL-инъекция, веб-приложения, компьютерная атака, марковский случайный процесс, системы управления базами данных*

Введение

В настоящее время наблюдается устойчивый рост количества компьютерных атак на объекты критической информационной инфраструктуры (КИИ) РФ [1], которые в свою очередь способствуют снижению общего уровня защищенности веб-ресурсов субъектов КИИ [2]. Главным фактором, который способствует реализации угроз безопасности веб-приложений, является недостаточная эффективность механизмов защиты на прикладном уровне. и систем обнаружения вредоносных HTTP-запросов, наличие уязвимостей в программном обеспечении, а также отсутствие в веб-приложениях механизмов организации защищенного взаимодействия между клиентом и сервером [3].

Технологический переход от классических настольных приложений к приложениям с веб-интерфейсом, наметившийся в настоящее время в ИТ-индустрии, сопровождается ростом требований к безопасности таких приложений. По данным Открытого проекта обеспечения безопасности веб-приложений (OWASP) в 2021 году 94% веб-приложений были подвержены той или иной форме SQL-инъекции [4]. 33 уязвимости, эксплуатируемых в ходе компьютерных атак, являются вторыми по распространённости [5], а сама угроза A03:2021-Injection

© Будников С. А., Бузуев И. А., Суховерхов А. С., 2025

занимает третье место в Топ-10 Рисков Безопасности веб-приложений [4].

По состоянию на декабрь 2024 года в банке данных угроз безопасности информации ФСТЭК России [6] присутствовало описание 982 уязвимостей, связанных с ошибками при обработке SQL-запросов или с недостатками обработки внутренних функций различных систем управления базами данных (СУБД). При этом в банке данных угроз определены пять типовых групп уязвимостей веб приложений:

- «BDU:W01 – уязвимости, связанные с недостатками проверки вводимых данных»;
- «BDU:W02 – уязвимости, связанные с недостатками управления доступом и защиты данных»;
- «BDU:W03 – уязвимости, связанные с недостатками работы со структурами данных»;
- «BDU:W04 – уязвимости, связанные с недостатками проверки подлинности»;
- «BDU:W05 – уязвимости, связанные с недостатками управления ресурсами».

В результате проведения SQL-инъекции может быть получен несанкционированный доступ к внутренним информационным ресурсам компании, проведена модификация чувствительной информации, дезорганизовано функционирование приложений бизнес-процессов. Практически любая атака на веб-приложения субъекта КИИ приводит к негативным последствиям и в соответствии с классификацией, принятой в новом разделе угроз банка данных ФСТЭК России [7], может нанести «финансовый, иной материальный ущерб физическому лицу (Н6)», привести «к потери (хищению) денежных средств (Н10)», причинению «имущественного ущерба (Н23)», к «нарушению деловой репутации (Н20)». Кроме того, угрозам безопасности информации подвергаются пользователи веб-приложений, так как успешные атаки позволяют похищать учетные данные пользователей, выполнять действия на сайтах от их лица, а также внедрять на рабочие станции удаленных пользователей вредоносное ПО.

Исследования угроз интернет-безопасности, показали, что в настоящее время с учётом возрастающей скорости реакции нарушителей типичное «окно уязвимости» не даёт достаточно времени для установки исправлений, поскольку время между обнаружением уязвимости и разработкой сценария атаки с ее использованием сокращается с каждым годом [4].

Поэтому еще большую актуальность приобретают вопросы, связанные с разработкой моделей и методик для оценки защищенности веб-интерфейсов приложений баз данных от компьютерных атак. Исследования, которые направлены на создание моделей и методов для анализа защищенности веб-интерфейсов [8-13] базы данных от кибератак, приобретают высокую ценность Так как до сих пор не существует математических моделей, которые позволили оценить вероятностно-временные характеристики кибератак на веб-приложения.. Наиболее близкой по используемому математическому аппарату является работа [14], однако объект и условия проведения атаки существенно отличаются от исследуемых.

Данные факты определяют цель работы – разработка модели реализации угроз безопасности на основе уязвимостей веб-интерфейсов типа «SQL Injection».

Основная часть

Разработка модели реализации угроз безопасности на основе уязвимостей веб-интерфейсов типа «SQL Injection» осуществляется в рамках работы по разработке совокупностей моделей и методик оценки защищенности веб-интерфейсов приложений баз данных от компьютерных атак.

SQL-инъекцией являются атаки, в которых нарушитель формирует и внедряет вредоносный код в информационный поток, направленный на базы данных. Этот код затем отправляется на сервер системы управления базами данных (СУБД) для анализа и выполнения. При успешном выполнении атаки нарушитель обходит систему безопасности приложения и получает доступ к конфиденциальной информации, в следствии чего изменяет, копирует и удаляет информацию, содержащуюся в атакуемой базе данных.

Анализ систематизированных шаблонов объектов и механизмов реализации компьютерных атак CAPEC [15] различных публикаций, описывающих сценарии реализации угроз безопасности на основе уязвимостей веб-интерфейсов типа «SQL Injection» [8, 12], позволил обобщить и спрогнозировать следующий сценарий компьютерной атаки.

Используя поисковые системы или программное обеспечение для анализа сетевого трафика, такие как WireShark, нарушитель анализирует сервисы и ресурсы на сервере веб-приложений, который он атакует. С учетом полученных сведений проводится анализ возможности SQL-инъекции с помощью динамического построения запросов, некорректной обработки, специализированных символов, программных исключений, типов данных и небезопасных конфигураций СУБД. На следующем шаге нарушитель выбирает метод SQL-инъекции, например,

«Blind SQL-инъекция», «Union SQL-инъекция», «Time-based SQL-инъекция», «Error-based SQL-инъекция» или «Out-bound SQL-инъекция» и способ передачи сформированных данных в веб-приложение, например, через параметры HTTP-заголовка, такие как «Referer» и «User-Agent», через значения, хранящиеся в файлах Cookie, через параметры, передаваемые с помощью GET- или POST-методов.

Тип и версия СУБД, идентификация пользователя и его прав, а также повышение привилегий атакованного пользователя СУБД определяются в ходе последующей SQL-инъекции.

Постэксплуатация уязвимости может предполагать извлечение хэшей паролей системных учетных записей, получение структуры базы данных и самих данных, выполнение команд операционной системы (ОС) через СУБД В результате злоумышленник может получить контроль над операционной системой, используя права пользователя, от имени которого работает система управления базами данных. Например, если система управления базами данных запущена в сеансе с правами администратора операционной системы, то злоумышленник может выполнять на сервере команды операционной системы от имени администратора.

Обобщенный граф реализации угрозы безопасности информации по описанному выше сценарию приведен на рис. 1.

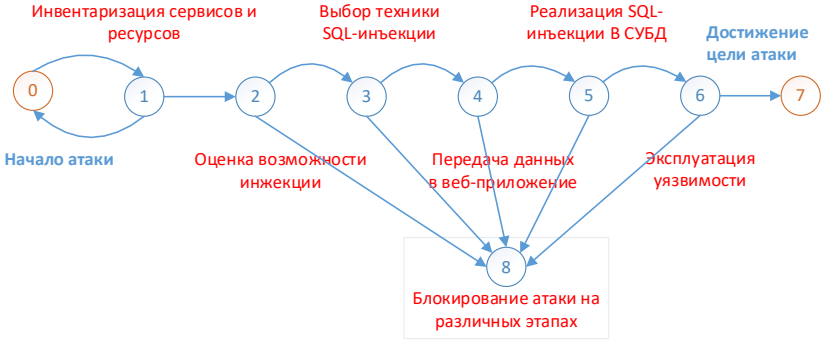


Рис. 1. Граф развития атаки

В этом графе состояние S_7 соответствует достижению цели атаки, состояние S_8 – блокирование системой безопасности атаки на различных этапах ее развития. Соответственно множество переходов $S_{2,3,4,5,6} \to S_8$ будет отождествлять эффективное функционирование системы безопасности.

Как и в [14] будем считать, что реализацию угрозы безопасности информации по описанному выше сценарию можно представить в виде марковского процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем. Для данного графа построим марковскую модель реализации угроз безопасности на основе уязвимостей веб-интерфейсов типа «SQL Injection», основанную на построении известных систем однородных дифференциальных уравнений Колмогорова [16], для заданных начальных условий: $P_{S0}(0)=1$, $P_{Si}(0)=0$, где $i=\overline{1,8}$. Система однородных дифференциальных уравнений Колмогорова относительно средних времен переходов для графа, приведенного на рис.1 будет иметь вид:

$$\begin{cases}
\frac{dP_{S0}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{01}}P_{S0}(t)+\frac{1}{t_{10}}P_{S1}(t),\\
\frac{dP_{S1}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{01}}P_{S0}(t)-\left[\frac{1}{t_{10}}+\frac{1}{t_{12}}\right]P_{S1}(t),\\
\frac{dP_{S2}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{12}}P_{S1}(t)-\left[\frac{1}{t_{28}}+\frac{1}{t_{23}}\right]P_{S2}(t),\\
\frac{dP_{S3}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{23}}P_{S2}(t)-\left[\frac{1}{t_{38}}+\frac{1}{t_{34}}\right]P_{S3}(t),\\
\frac{dP_{S4}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{34}}P_{S3}(t)-\left[\frac{1}{t_{48}}+\frac{1}{t_{45}}\right]P_{S4}(t),\\
\frac{dP_{S5}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{45}}P_{S4}(t)-\left[\frac{1}{t_{58}}+\frac{1}{t_{56}}\right]P_{S5}(t),\\
\frac{dP_{S6}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{56}}P_{S5}(t)-\left[\frac{1}{t_{68}}+\frac{1}{t_{67}}\right]P_{S6}(t),\\
\frac{dP_{S7}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{67}}P_{S6}(t),\\
\frac{dP_{S8}(t)}{dt}=\frac{1}{t_{28}}P_{S2}(t)+\frac{1}{t_{38}}P_{S3}(t)+\frac{1}{t_{48}}P_{S4}(t)+\frac{1}{t_{58}}P_{S5}(t)+\frac{1}{t_{68}}P_{S6}(t),
\end{cases}$$

где $P_{Si}(t)$ – вероятность нахождения в i-ом состоянии, $i=\overline{0,8}$;

$\overline{t_{ij}}$ – среднее время перехода из i-ого состояния в j-ое, $i,j\in\{0,8\}$.

При численном решении данной системы уравнений воспользуемся, реализованным в системе компьютерной алгебры MathCad методом Адамса в функции odesolve [17]. С применением численной реализации данного метода можно вычислить значения вероятностей во всех исследуемых состояниях в зависимости от времени. Результаты расчетов значений вероятностей нахождения в состояниях от времени реализации УБИ в часах приведены на рис. 2.

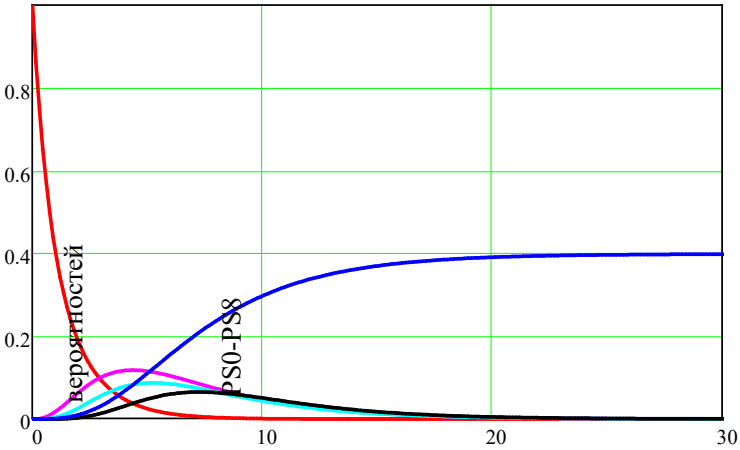


Рис. 2. Зависимость значений вероятностей нахождения в состояниях $S_0 - S_8$ от времени реализации УБИ, час

Интересующие нас зависимости вероятности нахождения системы безопасности в выигрышном $P_{S8}(t)$ и проигрышном $P_{S7}(t)$ состояниях от времени конфликта t приведены на рис. 3. Отображение этих зависимостей наглядно показывает, что, численно решая уравнение $P_{S8}(t) = P_{S7}(t)$ для типовых значений временных характеристик действий нарушителя и системы безопасности можно определить момент времени, до которого значение вероятности нахождения в выигрышном состоянии $P_{S8}(t)$ будет больше значения вероятности нахождения в проигрышном состоянии $P_{S7}(t)$. Этот момент времени является границей между временной областью эффективной защиты, определяющий длительность выигрыша системы безопасности, и временной областью превосходства нарушителя, определяющий интервал времени, когда вероятность успешного завершения атаки будет

больше чем вероятность срабатывания системы безопасности и блокирования действий нарушителя в ходе атаки.

Таким образом, разработана модель процесса проведения многоэтапной компьютерной атаки типа «SQL Injection», эксплуатирующей уязвимости, связанные с недостатками проверки вводимых данных, и основанной на представлении ее марковским процессом с дискретными состояниями и непрерывным временем.

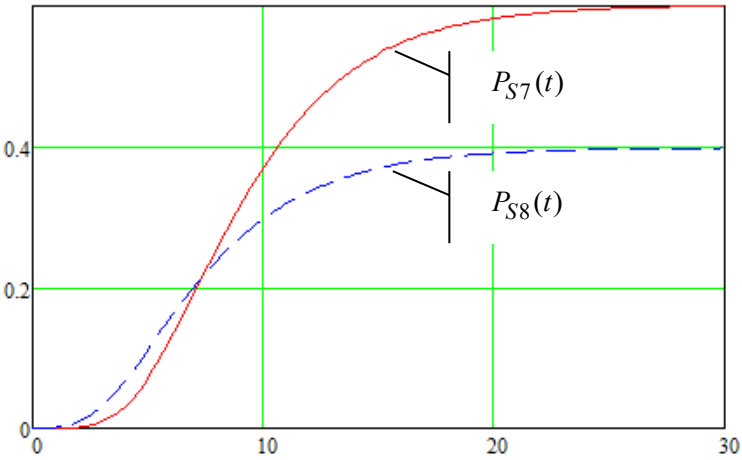


Рис. 3. Зависимость вероятностей проведения «SQL Injection» $P_{S7}(t)$ и блокирования «SQL Injection» $P_{S8}(t)$, час

Заключение

Разработка математических моделей, позволяющих оценить вероятностно-временные характеристики реализации компьютерных атак на веб-приложения объектов критической информационной инфраструктуры, является актуальной задачей в условиях возрастания угроз атак. Применение марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем позволяет достаточно точно описать процесс компьютерной атаки. А применение численных методов решения систем однородных дифференциальных уравнений в среде Mathcad позволяет получить графические зависимости вероятностей нахождения системы в различных состояниях.

Временные параметры системы безопасности веб-приложения, полученные на разных этапах компьютерной атаки типа «SQL Injection»,

которая использует уязвимости, связанные с недостатками проверки вводимых данных, позволяют обосновать требования к времени стабильной работы веб-приложений в условиях SQL-инъекций.

Список литературы

1. Как изменились атаки на российские компании за два года [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/kak-izmenilis-ataki-na-rossiyskie-kompanii-za-dva-goda/
2. Уязвимости и угрозы веб-приложений в 2020–2021 гг. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/web-vulnerabilities-2020-2021/
3. Кибербезопасность в 2022–2023. Тренды и прогнозы [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/ogo-kakaya-ib/
4. OWASP Top Ten | OWASP Foundation [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://owasp.org/www-project-top-ten/
5. Атаки на веб приложения [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/Web-Applications-Attacks-rus.pdf
6. БДУ – Раздел угроз безопасности информации. [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: https://bdu.fstec.ru/threat-section
7. БДУ – Раздел угроз безопасности информации. Негативные последствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bdu.fstec.ru/threat-section/negatives
8. Егоров, М. Выявление и эксплуатация SQL-инъекций в приложениях / М. Егоров // Защита информации. Инсайд. – 2011. – № 2(38). – С. 76-82.
9. Газизов, А. Р. Аппаратно-программные и организационные средства защиты ресурсов информационной системы персональных данных от несанкционированного доступа путем SQL-инъекций / А. Р. Газизов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2022. – № 3. – С. 169-178.
10. Зинкевич, А. В. Исследование SQL-инъекций / А. В. Зинкевич, Д. Н. Суриков // Ученые заметки ТОГУ. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 104-110.
11. Вильховский, Д. Э. Возможности ИИ в сфере кибербезопасности: вопросы обнаружения, предотвращения и реагирования на SQL-инъекции, XSS- и CSRF-атаки / Д. Э. Вильховский // Математические структуры и моделирование. – 2024. – № 4(72). – С. 111-124.

12. Болотов, А. К. Методика выполнения и противодействия SQL-инъекции на WEB-портал на киберполигоне Ampire / А. К. Болотов // Фундаментальные и прикладные исследования в информатике и цифровизации : Материалы симпозиума XIX (LI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 25 апреля 2024 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 85-88.

13. Андреещев, И. А. Полумарковская модель оценки конфликтной устойчивости информационной инфраструктуры / И. А. Андреещев, С. А. Будников, А. В. Гладков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2017. – № 1. – С. 10-17.

14. Будников, С. А. Моделирование APT-атак, эксплуатирующих уязвимость Zerologon / С. А. Будников, Е. Е. Бутрик, С. В. Соловьев // Вопросы кибербезопасности. – 2021. – № 6(46). – С. 47-61.

15. Common Attack Pattern Enumeration and Classification CAPEC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://capec.mitre.org/data/index.html

16. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.

17. Охорзин, В.А. Оптимизация экономических систем. Примеры и алгоритмы в среде Mathcad / В. А. Охорзин. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 144 с.

Актуальные вопросы технической защиты информации в государственных информационных системах регионального уровня

С. А. Вялых, e-mail: vyalyh@govvrn.ru
В. А. Ульянов e-mail: va_ulyanov@govvrn.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Рассмотрены вопросы формирования единых требований технической защиты информации и применения криптоалгоритмов в государственных информационных системах регионального уровня.*

Ключевые слова: *концепция технической защиты информации, государственные информационные системы, безопасность информации, конфиденциальность, криптозащита персональных данных.*

Введение

Ключевым органом, осуществляющим нормативное регулирование, контроль, управление, лицензирование, ведение банка данных угроз безопасности информации и уязвимостей в области технической защиты информации (ТЗИ) в государственных информационных системах регионального уровня (ГИС РУ), является ФСТЭК России [1].

Одним из основных документов, регламентирующих ТЗИ в ГИС РУ, является Приказ ФСТЭК России от 11.02.2013 № 17 «Требования о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» [2]. Кроме этого в настоящее время разработано и действует большое количество нормативных документов, в той или иной мере затрагивающих данную проблематику [3], положения которых в ряде случаев требуют дополнительных разъяснений и конкретизации. Часто имеются по-разному трактуемые определения (в том числе базовые понятия), противоречивые (и даже невыполнимые на региональном уровне с точки зрения необходимых компетенций и затрат) требования. Отсутствует единый системный подход к ТЗИ [4, 5] в ГИС РУ. Во многом это обусловлено невозможностью (высокой сложностью) в полной мере решить поставленные задачи ТЗИ (при отсутствии их конкретизации с учетом условий ограниченных ресурсов). Отсутствие необходимой межведомственной координации в вопросах ТЗИ, в

© Вялых С. А., Ульянов В. А., 2025

условиях ограниченных сфер полномочий основных регуляторов, не позволили до настоящего времени разработать концепцию, устанавливающую единый подход к решению задач ТЗИ с учетом (по возможности) всех факторов, влияющих на безопасность информационной системы, и в соответствии с которыми должны распределяться области ответственности регулирующих органов и устанавливаться правила их взаимодействия для достижения конкретных заданных целей защиты информации. Действующая Концепция защиты средств вычислительной техники и автоматизированных систем от несанкционированного доступа к информации, утвержденная решением Государственной технической комиссии при Президенте Российской Федерации 30.03.1992 [6] (да и ряд действующих других нормативных документов) устарела и не отвечает современным требованиям. Используемый в настоящее время подход к ТЗИ подменяет (никак это не обосновывая) достижение целей ТЗИ – заданных свойств безопасности информации – требованиями выполнения определенного перечня мер и отработке документов, подтверждающими их выполнение (так называемая «бумажная защита») [2, 7, 20]. Как результат, реальная безопасность информации не оценивается и в полной мере не обеспечивается.

1. Вопросы единого подхода к технической защите информации с применением алгоритмов криптозащиты информации

Существующее искусственное разделении понятий ТЗИ – «защита информации, заключающаяся в обеспечении некриптографическими методами безопасности информации (данных), подлежащей (подлежащих) защите в соответствии с действующим законодательством, с применением технических, программных и программно-технических средств», и понятия криптографическая защита информации [8] в соответствии с разделением полномочий ФСТЭК России и ФСБ России предопределяет низкую эффективность независимо принимаемых решений в каждой области. Это обусловлено в первую очередь невозможностью решения задач защиты информации в ГИС РУ только некриптографическими или только криптографическими методами. Системный подход требует комплексных решений [4]. Без имеющихся полномочий в документах ФСТЭК России часто встречаются требования использовать методы криптозащиты, и, наоборот, ФСБ России требует для эффективности своих решений обеспечить безопасность среды функционирования СКЗИ некриптографическими методами [9]. Также следует указать на разные подходы к решению задач защиты. Так ФСБ России в своих документах [9-11] лишь в определенных случаях требует применения

сертифицированных средств криптозащиты информации (СКЗИ), устанавливает организационные меры защиты персональных данных и устанавливает требования по защите самих СКЗИ (а не искомой информации!) в зависимости от возможностей нарушителя. Вероятно, такая методология и верна для задач защиты гостайны, однако такой подход в ГИС РУ выглядит явно чрезмерным на фоне применения в этой же системе (в интересах защиты информации) зарубежных криптоалгоритмов защиты паролей и другой ключевой информации (на применение и защиту которых ни требования ФСБ России, ни ФСТЭК России не распространяются). В то же время такие криптоалгоритмы широко используются в различных защищенных сетевых протоколах, а также алгоритмах идентификации драйверов, объектов и сервисов в сети «Интернет» и другого программного обеспечения. Указанные зарубежные криптоалгоритмы в настоящее время практически никак не охвачены отечественными требованиями их применения или хотя бы оценки и учета их безопасности при построении системы защиты информации.

2. Обобщенная модель ТЗИ в ГИС РУ и вопросы корректной оценки безопасности информации в ГИС РУ

Состояние информации обрабатываемой в ГИС РУ $\vec{I}(T)$ в момент времени T можно описать следующими обобщенными зависимостями (1) (формально описываемыми оператором $\vec{X}$) от $\vec{G}$ - состояния параметров ГИС РУ с учетом $\vec{I}(t)$ - предыдущих состояний оцениваемой информации, J - жизненного цикла ее компонентов и A_2 - возможных атак извне на компоненты ГИС РУ. Состояние параметров ГИС РУ описывается следующими параметрами $P, D, \vec{I}_G, \vec{W}, L, S, U_i, K_3, M_r, A_1, G_z$ соответственно: людьми, обеспечивающими создание, аттестацию, эксплуатацию, модернизацию, ремонт, обслуживание, сопровождение и контроль защиты информации в ГИС РУ; действующей и разработанной документацией; информацией, обрабатываемой и содержащейся в ГИС РУ, включая защищаемую; взаимодействующими друг с другом программно-аппаратными компонентами; обеспечивающей инфраструктурой; средствами защиты информации; известными уязвимостями системы; контролируемой зоной; выполняемыми в ГИС РУ организационными мероприятиями; атаками внутренних нарушителей (умышленными или неумышленными); взаимодействующими информационными системами, включая сеть «Интернет».

$$\vec{I}(T) = \vec{X}(\vec{G}, \vec{I}(t), J, A_2), \quad 0 < t < T$$
$$\vec{G} = \vec{G}(P, D, \vec{I}_G, \vec{W}, L, S, U_i, K_3, M_r, A_1, G_z)$$
$$D = D(D_F, D_P, D_M, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, \vec{D}_v, D_r)$$
$$M_r = P(D, M_0) \qquad (1)$$
$$A_1 = N_1(N_u, N_n)$$
$$A_2 = N_2(U(\vec{G}), A_{np}, A_в, A_Ф, V, Z)$$

Параметр D - документация определяется параметрами $D_F, D_P, D_M, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, \vec{D}_v, D_r$ соответственно: федеральными законами РФ; указами Президента РФ; постановлениями Правительства РФ; приказами ФСТЭК России; ФСБ России; Минцифры России; Роскомнадзора; ФСО России; ведомственными профильными требованиями министерств (например, Минздрава России и др.); требованиями, разработанными на региональном уровне (подробный перечень указанных документов приведен на сайте ib.govvrn.ru), включая документацию по информационной безопасности в ГИС РУ.

Параметр M_r определяет организационные мероприятия и принятые меры в информационной системе ответственными за исполнение этих мероприятий людьми P в зависимости от установленных требований нормативными документами D и методическими рекомендациями M_0, с учетом компетенций и уровня образования ответственных лиц.

Параметр A_1 определяет возможности умышленных N_u и неумышленных N_n действий внутренних нарушителей N_1.

Параметр A_2 определяет возможные атаки извне на компоненты ГИС РУ и учитывает внешних нарушителей N_2, которые, анализируя и используя уязвимости информационной системы $U(\vec{G})$, применяют различные способы атак $A_Ц, A_B, A_Ф, V, Z$ соответственно: целенаправленные; веерные; фишинговые и направленные на внутренних пользователей информационной системы; путем внедрения вредоносных программ; путем внедрения программных и/или аппаратных закладок.

Оценку свойств защищаемой информации $\vec{Y}(T)$ можно описать процедурой $\vec{F}$ (2), основанной на анализе таких параметров как

$\vec{Y}(t), D, \vec{G}, I_S, M_t, R, K(t)$ соответственно: предыдущие оценки; требования действующей и разработанной документации; состояние параметров ГИС РУ; регистрируемых уязвимостей и событий безопасности средствами защиты информации; мониторингом состояния различных параметров как самой системы, так и иной информации, в том числе размещаемой в сети «Интернет», включая профильные форумы; информации об инцидентах и их устранении; контролем состояния информационной безопасности ГИС РУ.

$$\vec{Y}(T) = \vec{F}(\vec{Y}(t), D, \vec{G}, I_S, M_t, R, K(t)) \quad (2)$$

На практике, как правило, реальная оценка свойств безопасности защищаемой информации в ГИС РУ не проводится (за исключением их явных нарушений). Выводы о нарушении безопасности информации делаются только на основе анализа указанных выше параметров. Корректность такого подхода, без анализа реального влияния выявленных угроз безопасности на защищаемые свойства информации и возможностей их реализации в ГИС РУ, не обоснована.

На текущий момент общие требования по защите информации устанавливает Федеральный закон "Об информации, информационных технологиях и о защите информации" от 27.07.2006 N 149-ФЗ [12], где определено (ст. 16), что защиту информации обязан обеспечить обладатель информации или оператор информационной системы. Однако на региональном уровне ни обладатель информации, ни оператор ГИС РУ, как правило, не обладают требуемыми компетенциями и ресурсами.

Нерешенность задач единого подхода к оценке безопасности информации регуляторами в области ТЗИ (отсутствие типовых решений с учетом необходимых компетенций и трудозатрат на их выполнение, например, разработка и актуализация моделей угроз, обнаружение и устранение уязвимостей, выполнение требований безопасности информации в многочисленных сегментах ГИС РУ и их контроль и др.) привело к перекладыванию ответственности за их решение на операторов, что приводит к необходимости в каждом регионе и в каждой ГИС РУ разрабатывать одинаковые документы и принимать уже свои, не всегда эффективные решения.

3. Вопросы однозначной интерпретации базовых понятий, определений и подходов к защите информации в ГИС РУ

Исходя из приведенного выше определения, цель ТЗИ заключается в обеспечении безопасности информации [8], при которой в свою очередь обеспечиваются конфиденциальность, доступность и

целостность [8]. Как показывает практика, указанное состояние в текущих условиях постоянного появления новых уязвимостей и слабо контролируемых действий пользователей ГИС РУ является недостижимой целью. Кроме этого в современных условиях часто имеется необходимость защищать и другие свойства информации, например, юридическую значимость, или защищать от неправомерных действий в отношении иных свойств информации [12]. Таким образом указанное определение, рекомендуемое для использования ключевым регулятором в области ТЗИ ФСТЭК России, не отражает всей предметной области задач ТЗИ.

В Федеральном законе от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» приводится следующее определение: «конфиденциальность информации – обязательное для выполнения лицом, получившим доступ к определенной информации, требование не передавать такую информацию третьим лицам без согласия ее обладателя», которое не только противоречит толкованию понятия «конфиденциальный» в русском языке как «Секретный, доверительный» [13], но и вводит в заблуждение относительно предмета защиты. Если необходимо защитить указанное в определении требование, то в процессе эксплуатации информационной системы «обязательное его выполнение» не изменяется и не требует своей защиты. А вот свойство информации быть секретной для неуполномоченных лиц или информационных процессов может нарушаться и подлежит защите. Кроме этого остается нерешенным вопрос необходимости принятия дополнительных технических решений устранения последствий нарушения конфиденциальности. Возможно, достаточно принять решение о том, что защищаемая информация скомпрометирована и изменить требования по ее защите, например, снять требования по защите скомпрометированной информации.

Еще одним важным базовым понятием в области ТЗИ является понятие недекларированных возможностей, которое определяется как функциональные возможности программного обеспечения, не описанные в документации [8]. В зависимости от наличия или отсутствия которого в различных видах программного обеспечения определяется тип актуальной угрозы [14], и далее выбирается необходимый уровень защиты персональных данных. Вместе с данным понятием широко используется понятие уязвимость – «недостаток (слабость) программного (программно-технического) средства или системы и сети в целом, который(ая) может быть использован(а) для реализации угроз безопасности информации» [15]. Возникает

закономерный вопрос: – «В чем разница указанных понятий»? То, что первое из них не охватывает недекларированные возможности программно-технических средств, говорит лишь о некорректности первого определения, которое не отражает всю полноту возможных угроз, связанных с недекларируемыми возможностями [16, 17] и которые не менее важны для реализации противодействия заданного уровня безопасности персональных данных и установления соответствующих требований. И первое, и второе понятие по сути отражают объективные свойства программно-аппаратного обеспечения, связанное с наличием преднамеренных (в этом случае говорят о закладке или программной закладке [8]) или непреднамеренных ошибок, или свойств в эксплуатируемом программном и аппаратном обеспечении информационной системы, своевременное получение знаний о которых является одной из важнейших целевых составляющих деятельности как нарушителей, так и защищающейся стороны. Возможно указанные противоречия в определении указанных понятий связано с разными сферами полномочий ФСТЭК России и ФСБ России.

Отнесение вновь выявленных недекларируемых свойств различных аппаратных компонентов ГИС РУ к другому понятию – программным уязвимостям (для процессоров ФСТЭК России их называет уязвимостями микропрограммного обеспечения [18, 19]) позволяет существенно снизить требования к защите информационных систем, обрабатывающих персональные данные [14], принимая ничем не обоснованные решения (в соответствии с устными рекомендациями представителей ФСТЭК России, в том числе и формально – в процессе согласования Моделей угроз безопасности информации ГИС РУ) о наличии актуальных угроз в ГИС РУ только 3-го типа, которые не связаны с наличием недокументированных (недекларированных) возможностей в системном и прикладном программном обеспечении, используемом в информационной системе.

В рассматриваемом подходе [14] к установлению уровней защищенности персональных данных необходимо указать также на то, что новые уязвимости и закладки создают новые, недокументированные (недекларированные) возможности программного, программно-аппаратного и аппаратного обеспечения ГИС РУ и требуют соответствующего учета при определении уровней защищенности персональных данных, обрабатываемых в этих системах.

Одним из основных документов, регламентирующих требования ТЗИ в информационных системах персональных данных, которыми часто являются и ГИС РУ, является Приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 «Состав и содержание организационных и технических мер по

обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [20], где также не рассматривается применение криптографических мер защиты информации. При этом одним из важнейших защищаемых свойств персональных данных является их конфиденциальность, которую в современных условиях постоянных инцидентов несанкционированного доступа не представляется иной возможности обеспечить, кроме как применением дополнительных методов криптозащиты. Несмотря на указанный очевидный факт, подтверждающийся многочисленными успешными атаками, в современных ГИС РУ по решению операторов, согласованному с ФСТЭК России и ФСБ России, конфиденциальность персональных данных дополнительными мерами криптозащиты, как правило, не обеспечивается, и требование о необходимости таких мер [11, 13] не выполняется (за исключением передачи персональных данных за пределы охраняемой территории).

Заключение

Нерешенность задач, связанных с единым подходом к ТЗИ и криптографической защитой данных, учетом и оценкой безопасности всех сфер применения криптоалгоритмов, отсутствие единой концепции, методологии и единого подхода к оценке безопасности и формированию единых однозначно интерпретируемых требований с учетом ограниченных ресурсов регионального уровня, а также перекладывание ответственности за решение концептуальных и типовых задач на операторов не позволяет обеспечить эффективное решение задач ТЗИ в ГИС РУ. В условиях ограниченности ресурсов крайне важно прежде всего определить степень допустимого ущерба и достижимые цели ТЗИ для каждого из защищаемых свойств информации, разработать методологию их достижения, на основе которой должны быть установлены правила межведомственного взаимодействия в вопросах ТЗИ и разработаны требования и конкретные примеры их выполнения для типовых случаев.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 16 августа 2004 г. № 1085. Положение о Федеральной службе по техническому и экспортному контролю. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/ukazy/ukaz-prezidenta-rossijskoj-federatsii-ot-16-avgusta-2004-g-n-1085

2. Приказ ФСТЭК России от 11.02.2013 № 17 «Требования о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах».

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-11-fevralya-2013-g-n-17

3. Сайт: Информационная безопасность Воронежской области. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ib.govvrn.ru/?page_id=504

4. Мельников, В. В. Безопасность информации в автоматизированных системах / В.В. Мельников. – Москва : Финансы и статистика, 2003.— 368 с.

5. Вострецова, Е.В. Основы информационной безопасности: учебное пособие для студентов вузов / Е.В. Вострецова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 204 с.

6. Концепция защиты средств вычислительной техники и автоматизированных систем от несанкционированного доступа к информации, утвержденная решением Государственной технической комиссии при Президенте Российской Федерации 30.03.1992. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/rukovodyashchij-dokument-ot-30-marta-1992-g

7. Приказ ФСТЭК России от 29 апреля 2021 г. № 77 «Об утверждении Порядка организации и проведения работ по аттестации объектов информатизации на соответствие требованиям о защите информации ограниченного доступа, не составляющей государственную тайну». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fstec.ru/poisk?q=77+приказ

8. ГОСТ Р 50922-2006 Защита информации. Основные термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=129024

9. "Методические рекомендации по разработке нормативных правовых актов, определяющих угрозы безопасности персональных данных, актуальные при обработке персональных данных в информационных системах персональных данных, эксплуатируемых при осуществлении соответствующих видов деятельности", утвержденные руководством 8 Центра ФСБ России (N 149/7/2/6-432 от 31.03.2015). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.fsb.ru/files/PDF/Metodicheskie_recomendacii.pdf

10. Приказ ФСБ от 10 июля 2014 года N 378 "Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных с использованием средств криптографической защиты информации, необходимых для выполнения установленных Правительством Российской Федерации

требований к защите персональных данных для каждого из уровней защищенности". "Российская газета", № 211, 17.09.2014.

11. Приказ ФСБ России от 24 октября 2022г № 524 «Об утверждении Требований о защите информации, содержащейся в государственных информационных системах, с использованием шифровальных (криптографических) средств». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pravo.gov.ru

12. Федеральный закон "Об информации, информационных технологиях и о защите информации" от 27.07.2006 N 149-ФЗ. "Российская газета", № 165, 29.07.2006.

13. Толковый словарь Ожегова онлайн. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://slovarozhegova.ru/

14. Постановление Правительства Российской Федерации от 01.11.2012 № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных». "Российской газете" – 07.11.2012.

15. ГОСТ Р 56545-2015 «Защита информации. Уязвимости информационных систем. Правила описания уязвимостей». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=201374

16. Лукацкий А.В. Про «закладку» в чипах Intel… [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.securitylab.ru/blog/personal/Business_without_danger/299006.php

17. Блог Касперского Новая аппаратная уязвимость в процессорах Intel. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kaspersky.ru/blog/transient-cpu-eflags/35326/

18. УБИ.209: Угроза несанкционированного доступа к защищаемой памяти ядра процессора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bdu.fstec.ru/threat/ubi.209

19. BDU:2024-02258: Уязвимость микропрограммного обеспечения процессоров Intel, связанная с утечкой информации из векторных регистров, позволяющая нарушителю получить доступ к защищаемой информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bdu.fstec.ru/vul/2024-02258

20. Приказ от 18.02.2013 № 21 «Об утверждении Состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-18-fevralya-2013-g-n-21

Подход к обеспечению целостности данных, хранящихся в территориально распределенных хранилищах

Ю. О. Глобин, email: jurokglobin@rambler.ru

Краснодарское высшее военное училище

Аннотация. *Рассматриваются подход к обеспечению целостности данных, хранящихся в территориально распределенных центрах обработки данных, имеющих возможность высокоскоростного обмена данными между собой. Использование предлагаемого способа позволяет обеспечивать целостность хранящихся данных, т.е. осуществлять контроль целостности данных, а также подлинное восстановление данных, в которых зафиксировано нарушение целостности.*

Ключевые слова: *центр обработки данных, система хранения данных, обеспечение целостности данных, восстановление данных.*

Введение

В настоящее время развитие информационных технологий привело к кратному увеличению объемов данных, подлежащих хранению в цифровом виде. Чаще всего для хранения данных создаются центры обработки данных (далее – ЦОД), решающие множество задач. При этом важно не только контролировать целостность хранящихся данных, но и обеспечивать доступность к хранящимся данным, так как от этого зависит качество предоставляемых ЦОД услуг [1-2].

Вместе с тем постоянно возрастает и количество угроз безопасности информации, обрабатываемой в ЦОД. Это происходит как из-за роста объема хранящихся данных, так и в связи с повышением эффективности деструктивных воздействий злоумышленника и возмущений среды функционирования [3].

Существуют разные методы, направленные на поддержание целостности и доступности хранящихся данных, основанные как на применении подходов теории надежности (например, методы резервирования), так и комбинации методов теории кодирования и криптографии (например, построение криптокодовых конструкций) [4-6].

Предлагается размещение данных, хранящихся в территориально распределенных ЦОД, а также определенный набор операций, выполняемых с этими данными, позволяющие обеспечивать

© Глобин Ю. О., 2025

целостность хранящихся данных, т.е. осуществлять контроль целостности, а также подлинное восстановление данных, в которых зафиксировано нарушение целостности.

1. Схема взаимодействия центров обработки данных

В целях поддержания высокого уровня отказоустойчивости и обеспечения безопасности данных целесообразно использовать несколько ЦОД, которые могут быть территориально распределены. Примерная структурная схема взаимодействия ЦОД приведена на рис. 1.

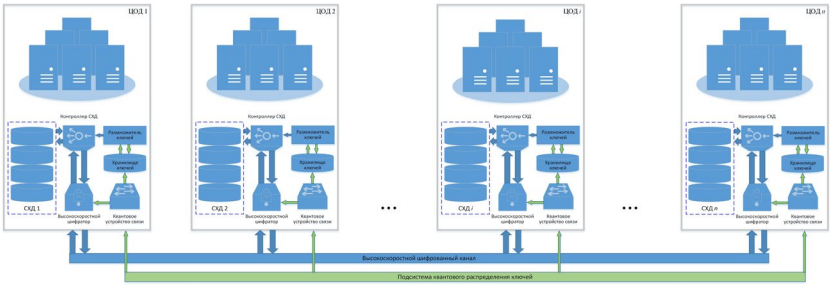


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия ЦОД

В каждом ЦОД имеется система хранения данных (далее – СХД), контроллер СХД, осуществляющий предобработку данных перед их непосредственным помещением в СХД, в частности вычисление значений криптографической хэш-функции для контроля целостности хранящихся данных. Для передачи данных между ЦОД используется высокоскоростной шифрованный канал, при этом ключ шифрования для высокоскоростных шифраторов ЦОД вырабатывается в подсистеме квантового распределения ключей. Также СХД могут быть реализованы не только в пределах ЦОД, но и на других программно-аппаратных платформах. Под распределенной системой ЦОД будет подразумеваться совокупность нескольких СХД независимо от их аппаратно-программной реализации, но позволяющих осуществлять криптографический контроль целостности хранящихся данных и обеспечивать обмен данными в реальном масштабе времени.

2. Распределение хранящихся данных между системами хранения данных

Пусть имеется блок данных M^i, подлежащий хранению в *i*-й СХД. Перед записью M^i в *i*-ю СХД вычисляется хеш-код ключевой хеш-

функции в контроллере СХД на ключе k^i данного ЦОД, поступившем из размножителя ключей:

$$H^{i,k^i} = h\left(M^i, k^i\right). \quad (1)$$

После этого служебное слово данных, под которым будем понимать комбинацию блока данных M^i и хеш-кода ключевой хеш-функции H^{i,k^i} от этих данных, помещается на хранение в *i*-ю СХД и имеет вид:

$$\left(M^i, H^{i,k^i}\right)_{\text{DSW}}. \quad (2)$$

Далее блок данных M^i в контроллере СХД представляется в виде информационного кодового слова:

$$M^i = \left(m_1^i, m_2^i, ..., m_s^i\right)_{\text{ICW}}, \quad (3)$$

где m_v^i – буквы информационного кодового слова, представляющие собой двоичные вектора, $v = 1,...,s$. Например, разбиение на буквы информационного кодового слова может быть следующим: $M^i = \left(m_1^i \,||\, m_2^i \,||\, ... \,||\, m_s^i\right)$, где || – операция конкатенации.

На основании информационного кодового слова формируется избыточное кодовое слово:

$$\left(y_1^i, y_2^i, ..., y_{s+r}^i\right)_{\text{RCW}}, \quad (4)$$

где y_w^i – буквы избыточного кодового слова, представляющие собой двоичные вектора, r – количество избыточных букв, $w = 1,...,s+r$, причем должно выполняться условие: $s + r < n$.

В общем виде буквы избыточного кодового слова формируются следующим образом:

$$y_w^i = \bigoplus_{v=1}^{s} a_{w,v} \cdot m_v^i, \quad (5)$$

где $\bigoplus_{v=1}^{s}$ – оператор параллельного векторного сложения по модулю 2, $a_{w,v} \in \{0;1\}$. При этом коэффициенты $a_{w,v}$ можно представить в виде матрицы:

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,s} \\ \dots & a_{w,v} & \dots \\ a_{s+r,1} & \dots & a_{s+r,s} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

В целом процедура формирования избыточного кодового слова аналогична процедуре кодирования помехоустойчивого кода, в которой информационными символами выступают буквы информационного кодового слова m_v^i, а матрицу A можно представить в виде порождающей матрицы кода.

После формирования избыточного кодового слова $\left(y_1^i, y_2^i, \dots, y_{s+r}^i\right)_{\text{RCW}}$ вычисляются хеш-коды ключевой хеш-функции от букв избыточного кодового слова:

$$H_w^{i,k^i} = h\left(y_w^i, k^i\right). \quad (7)$$

Распределяемые служебные слова данных:

$$\left(y_w^i, H_w^{i,k^i}\right)_{\text{DDSW}}, \quad (8)$$

состоящие из букв избыточного кодового слова y_w^i и соответствующих им хеш-кодов ключевой хеш-функции H_w^{i,k^i}, распределяются по высокоскоростному шифрованному каналу между остальными ЦОД, причем не обязательно между всеми.

После получения распределяемого служебного слова данных $\left(y_w^i, H_w^{i,k^i}\right)_{\text{DDSW}}$ j-м ЦОД в контроллере СХД вычисляется хеш-код ключевой хеш-функции от полученного слова данных на ключе k^j данного ЦОД, поступившем из размножителя ключей:

$$H_w^{i,k^j} = h\left(y_w^i \,||\, H_w^{i,k^i}, k^j\right). \quad (9)$$

Дополнительное служебное слово данных, содержащее полученное распределяемое служебное слово данных $\left(y_w^i, H_w^{i,k^i}\right)_{\text{DDSW}}$ и вычисленный хеш-код H_w^{i,k^j}, помещается на хранение в j-ю СХД и имеет вид:

$$\left(y_w^i, H_w^{i,k^i}, H_w^{i,k^j}\right)_{\text{ADSW}}. \quad (10)$$

Итоговое размещение хранящихся данных в распределенной системе ЦОД представлено на рис. 2.

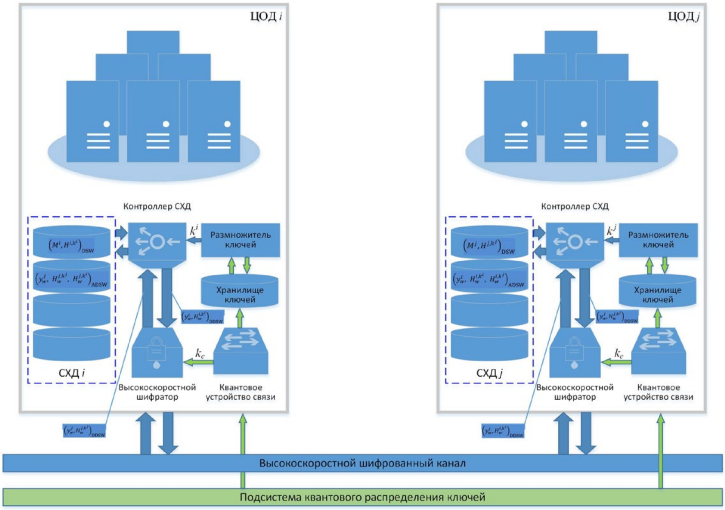


Рис. 2. Размещение хранящихся данных в распределенной системе центров обработки данных

3. Контроль целостности и восстановление хранящихся данных

В период эксплуатации распределенной системы ЦОД выполняется непрерывный процесс контроля целостности хранящихся данных в каждой СХД. Контроль целостности осуществляется путем сверки хранящихся хеш-кодов ключевых хеш-функций с вновь вычисляемыми от хранящихся данных, т.е. в каждой *i*-й СХД проверяются следующие равенства:

$$h\left(M'^{i}, k^{i}\right) = H'^{i,k^{i}}, \tag{11}$$

$$h\left(y'^{j}_{w} \,\|\, H'^{j,k^{j}}_{w}, k^{i}\right) = H'^{j,k^{i}}_{w}, \tag{12}$$

где i, j – номера СХД, $i = 1,...,n$, $j = 1,...,n$, $i \neq j$, $w = 1,...,s+r$, символ «′» означает то, что данные M'^{i} могут отличаться от данных M^{i}, помещенных на хранение.

Если равенства (11) и (12) выполняются для всех служебных слов данных, хранящихся в СХД, то нарушений целостности не фиксируется. В данном случае распределенная система ЦОД продолжает работать установленным порядком.

Если в ходе проверки не выполнено равенство (11), то фиксируется нарушение целостности в служебном слове данных $\left(M'^{i}, H'^{i,k^i}\right)_{\text{DSW}}$, хранящимся в СХД.

Выполняется повторное передача распределяемых служебных слов данных $\left(\hat{y}_w^i, \hat{H}_w^{i,k^i}\right)_{\text{DDSW}}$, где символ «^» означает данные, сформированные для повторной проверки, по высокоскоростному шифрованному каналу между остальными ЦОД, в контроллерах СХД j-х ЦОД вычисляется хеш-код ключевой хеш-функции от полученного распределяемого служебного слова данных $\left(\hat{y}_w^i, \hat{H}_w^{i,k^i}\right)_{\text{DDSW}}$ и сравнивается с хранящимся значением:

$$h\left(\hat{y}_w^i \parallel \hat{H}_w^{i,k^i}, k^j\right) = H'^{i,k^j}_w. \tag{13}$$

Если равенство (13) выполняется во всех j-х ЦОД, то фиксируется нарушение целостности в значении хеш-функции H'^{i,k^i}, хранящейся совместно с блоком данных M^i. Значение хеш-кода ключевой хеш-функции восстанавливается:

$$\tilde{H}^{i,k^i} = h\left(M'^i, k^j\right), \tag{14}$$

где символ «˜» означает данные после выполнения процедуры восстановления.

Если равенство (13) выполняется не во всех j-х ЦОД, то фиксируется нарушение целостности в блоке данных M'^i. Выполняется восстановление блока данных M'^i.

Для этого необходимо решить систему линейных уравнений (далее – СЛУ) следующего вида:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1^i + a_{12} \cdot x_2^i + \ldots + a_{1s} \cdot x_s^i = y'^i_1, \\ a_{21} \cdot x_1^i + a_{22} \cdot x_2^i + \ldots + a_{2s} \cdot x_s^i = y'^i_2, \\ \ldots \\ a_{s1} \cdot x_1^i + a_{s2} \cdot x_2^i + \ldots + a_{ss} \cdot x_s^i = y'^i_s, \\ \ldots \\ a_{(s+r)1} \cdot x_1^i + a_{(s+r)2} \cdot x_2^i + \ldots + a_{(s+r)s} \cdot x_s^i = y'^i_{s+r}. \end{cases} \tag{15}$$

Решением данной СЛУ будет вектор $\left(x_1^i \parallel x_2^i \parallel \ldots \parallel x_s^i\right)$, представляющий собой совокупность всех букв информационного

кодового слова $\left(\tilde{m}_1^i, \tilde{m}_2^i, ..., \tilde{m}_s^i\right)_{\text{ICW}}$, однозначно формирующих исходный блок данных $\tilde{M}^i$.

Для того, чтобы данная СЛУ имела решение и при том единственное, то есть была совместной определенной СЛУ, необходимо и достаточно наличие стольких букв избыточного кодового слова y'^i_w, которые позволят получить s уравнений из представленной СЛУ, формирующих равносильную ей СЛУ с рангом основной матрицы, равным s.

Данное требование может выполняться в лучшем случае при отсутствии не более чем r букв избыточного кодового слова y'^i_w.

После восстановления исходного блока данных $\tilde{M}^i$ проводится проверка достоверности восстановленного блока данных $\tilde{M}^i$ сравнением вычисленного и хранящегося хеш-кодов $\tilde{H}^{i,k^i} = H'^{i,k^i}$.

Если в ходе проверки не выполнено равенство (12), то фиксируется нарушение целостности в дополнительном служебном слове данных $\left(y'^i_w, H'^{i,k^i}_w, H'^{i,k^j}_w\right)_{\text{ADSW}}$, хранящемся в СХД.

Выполняется повторный запрос по высокоскоростному шифрованному каналу распределяемого служебного слова данных от j-го ЦОД $\left(\hat{y}^j_w, \hat{H}^{j,k^j}_w\right)_{\text{DDSW}}$. После получения распределяемого служебного слова данных $\left(\hat{y}^j_w, \hat{H}^{j,k^j}_w\right)_{\text{DDSW}}$ вычисляется хеш-код ключевой хеш-функции от полученного распределяемого служебного слова данных $h\left(\hat{y}^j_w \,||\, \hat{H}^{j,k^j}_w, k^i\right)$ и сравнивается с хранящимся значением хеш-кода H'^{j,k^i}_w:

$$h\left(\hat{y}^j_w \,||\, \hat{H}^{j,k^j}_w, k^i\right) = H'^{j,k^i}_w. \qquad (16)$$

Если равенство (16) выполняется, то фиксируется нарушение целостности в хранящемся распределяемом служебном слове данных $\left(y'^j_w, H'^{j,k^j}_w\right)_{\text{DDSW}}$. Выполняется его восстановление перезаписью поступившим распределяемым служебным словом данных $\left(\tilde{y}^j_w, \tilde{H}^{j,k^j}_w\right)_{\text{DDSW}} = \left(\hat{y}^j_w, \hat{H}^{j,k^j}_w\right)_{\text{DDSW}}$.

Если равенство (16) не выполняется, то фиксируется нарушение целостности в хранящемся хеш-коде ключевой хеш-функции H'^{j,k^i}_w

распределяемого служебного слова данных. Хеш-код ключевой хеш-функции восстанавливается $\tilde{H}_w^{j,k^i} = h\left(\hat{y}_w^j \| \hat{H}_w^{j,k^j}, k^i\right)$.

Заключение

Таким образом, предлагаемый подход обеспечивает целостность и доступность данных в распределенной системе ЦОД при их деградации, позволяя достоверно восстанавливать данные в случае нарушения их целостности.

Список литературы

1. Ямашкин, С. А. Интеграция, хранение и обработка больших массивов пространственно-временной информации в цифровых инфраструктурах пространственных данных / С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 5. – С. 108-113.
2. Клеменков, П. А. Большие данные: современные подходы к хранению и обработке / П. А. Клеменков, С. Д. Кузнецов // Труды Института системного программирования РАН. – 2012. – Т. 23. – С. 143-158.
3. Диченко, С. А. Модель угроз безопасности информации защищенных информационноаналитических систем специального назначения / С. Диченко // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2022. – № 1-2 (163-164). – С. 64-71.
4. Половко, А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006.
5. Samoylenko, D. V. Protection of information from imitation on the basis of crypt-code structures / D. V. Samoylenko, M. A. Eremeev, O. A. Finko, S. A. Dichenko // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – Т. 889. – С. 317-331.
6. Dichenko, S. A. Controlling and restoring the integrity of multi-dimensional data arrays through cryptocode constructs / S. A. Dichenko, O. A. Finko // Programming and Computer Software. – 2021. – Т. 47. № 6. – С. 415-425.

Вычисление яркостных, цветовых и текстурных признаковых карт для решения задачи нахождения контуров на изображении

З. С. Гостев, email: gostev_z_s@sc.vsu.ru
А. А. Сирота, email: sir@cs.vsu.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Аннотация. *В работе проводится краткий обзор различных подходов обнаружения контуров объекта на изображении: простые фильтры, методы, основанные на глубоких нейросетях (двухэтапные, целостно-вложенные, кодировщики), методы с ручным конструированием признаков. Детально рассматривается конструирование яркостных, цветовых и текстурных признаковых карт, обсуждаются возможные методы увеличения вычислительной эффективности их получения.*

Ключевые слова: *нахождение контуров, извлечение признаков, метод mPb*

Введение

Нахождение контуров объекта – важная задача обработки изображений и компьютерного зрения. Выделение контуров и перепадов, зачастую, также облегчает решение задач сегментации изображений, распознавания объектов, понимания сцен и сопоставления форм объектов. Данная тема достаточно хорошо исследована в различных работах, однако результаты ещё не достигают уровня человеческого зрения. Усложняют задачу такие факторы, как недостаточная четкость контуров на изображении, вызванная различными шумами и искажениями, масштабированием, неравномерностью освещения; наличием неоднозначности из-за контуров не только яркостного, но и текстурного характера; способность зрительного аппарата человека к высокоуровневому выделению контуров путем их дополнения.

Стоит уточнить различия в понятиях «контур», «граница» и «перепад». «Контур» – очертания объекта, отражающие его форму. «Граница» же означает границу области объекта или поверхности. «Перепад» – более низкоуровневое понятие, обозначающее место изменения интенсивности пикселей; часто, обнаружение перепадов позволяет упростить задачу нахождения контуров. «Контур» и

© Гостев З. С., Сирота А. А., 2025

«граница» почти всегда обозначают одно и то же. Однако контуры могут быть обнаружены не только по изменению интенсивности, но ещё и по изменению текстуры, с помощью перцептивной группировки и выделению иллюзорных контуров [1]. Тогда как в первых двух случаях контуры извлекаются из информации о границах областей, в третьем и четвертом случаях контуры находятся на основании глобальной информации об изображении, поэтому могут содержать разрывы и такие контуры нельзя отождествить с границами. Исходя их вышеописанного, можно сказать, что данная задача является достаточно сложной, а, кроме того, важной, и требует дополнительных исследований.

1. Обзор подходов к задаче обнаружения контуров

Наиболее ранние контурные детекторы реализуют операции свёртки с различными локальными фильтрами, выделяющими яркостные перепады на изображении. Это классические операторы Собела, Прюитт (Prewitt), Кэнни и другие. Не смотря на простоту реализации, небольшое количество используемых вычислительных ресурсов и интуитивность такие контурные детекторы уступают современным, поскольку используют лишь яркостную характеристику изображения, хотя, как описывалось выше, не все контуры возникают в местах перепадов яркости. Кроме того, эти методы показывают невысокие результаты в комплексных задачах, потому что обычная свертка не может учитывать информацию уровня объекта и выделять искомые контуры.

Проблему нехватки высокоуровневой информации хорошо решают современные нейросетевые контурные детекторы. Первые детекторы такого рода применяли популярные в задачах сегментации архитектуры свёрточных нейронных сетей для выделения признаков, которые использовались на втором этапе для генерации вероятностей контуров и перепадов, в том числе, с используя и поверхностные методы машинного обучения. Например, в [2] свёрточная нейросеть создаёт вектор признаков, который в последствии сопоставляется с помощью алгоритма k-ближайших соседей с векторами из словаря. В работе [3] рукотворные признаки заменяются признаками сверточной нейросети и классифицируются с помощью алгоритма опорных векторов. В дальнейшем приобрели популярность целостно-вложенные детекторы контуров (HED, [4]) и архитектуры, основанные на кодировщиках (например, [5]). Однако подобные решения слишком тяжеловесны для некоторых задач, и, кроме того, изученные признаки тяжело поддаются человеческой интерпретации и настройке.

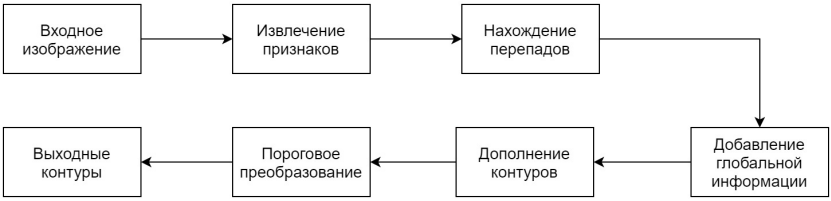


Рис. 1. Общая схема работы алгоритмов «ручного» выделения признаков

В связи с этим возникает необходимость в ручной разработке алгоритмов выделения признаков, для последующей их обработки с помощью различных методов машинного обучения. Общий алгоритм работы подобных методов изображен на рисунке 1. В одном из первых исследований в этом направлении [4] были использованы фильтры производных первого и второго порядка для формирования признаковых карт. В работе [7] предлагается схожий алгоритм с использованием яркостных и текстурных градиентов. Исследование [7] развивает предыдущую, добавляя цветовой градиент. Авторы также применяют многомасштабные градиенты и делают вывод, что данное усовершенствование не вносит значительных улучшений. Однако более тщательное исследование в этом направлении [9] показывает, что многомасштабные признаки могут увеличить значения тестируемых метрик. В [10] спроектированные вручную признаки заменяются на обширный набор более общих признаков, включающих градиенты, вейвлеты Хаара и т. д. Полученные перепады классифицируются с помощью бустинга решающих деревьев. Также в работе [11] добавляется использование глобальной информации на изображении.

Спроектированные вручную признаки обладают рядом преимуществ:

- вычислительная эффективность,
- возможность ручного редактирования признаков для конкретной задачи,
- высокая интерпретируемость в случае небольшого набора признаков.

Таким образом, представляет интерес исследование использования подобных признаков, а также возможностей уменьшения вычислительных затрат при их создании.

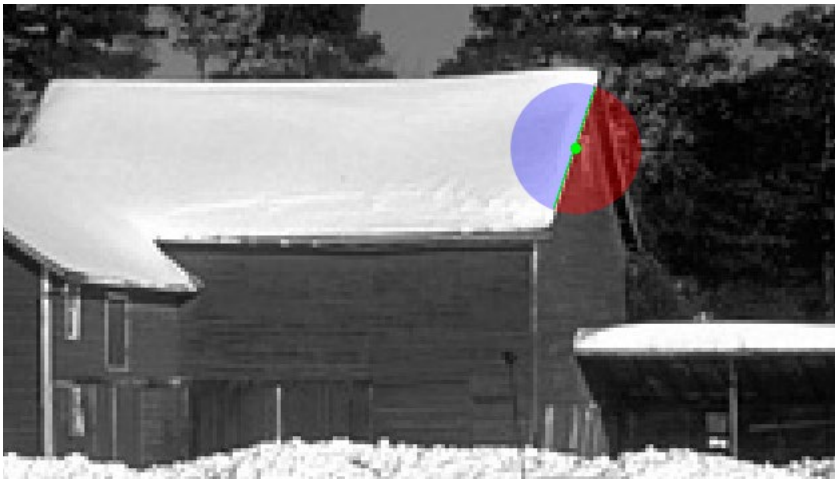


Рис. 2. Иллюстрация нахождения градиента гистограмм в точке

2. Создание градиентных признаковых карт

Пусть есть одноканальное изображение $F(x,y)$. В каждой точке (x,y) изображения возьмем область радиуса r и разделим её диаметром под углом θ на два диска (рис. Рис2.). Функция градиента $G(x,y,\theta,r)$ определяет различия распределений яркостей этих двух дисков: большое значение означает перепад, маленькое – его отсутствие. Для оценки распределений используются гистограммы и ядерная оценка плотности. Для сравнения гистограмм используется критерий согласия χ^2:

$$\chi^2(g,h)=\frac{1}{2}\sum\frac{(g_i-h_i)^2}{g_i+h_i}, \qquad (1)$$

где g и h – гистограммы дисков.

В работе рассматриваются 3 вида признаковых карт – яркостный градиент, цветовой градиент и текстурный градиент. Каналы исходного изображения в формате LAB используются для создания яркостного градиента и двух цветовых, соответственно. Текстурный градиент создается из исходного изображения в градациях серого. Для создания текстурных градиентов проводится свёртка с 17 специальными фильтрами (рис. 3). 8 чётных – вторая производная гауссовского фильтра, 8 нечетных – первая производная гауссовского фильтра и последний – разница гауссиан. Результат фильтрации – массив размером

$M \times N \times 17$ (M и N – размерности изображения после фильтрации) – уплощается в вектор, каждый пиксель которого подлежит кластеризации алгоритмом К-средних на K кластеров. Полученные центры кластеров – специфические для изображения текстоны (рис 4). Для увеличения вычислительной эффективности можно использовать один и тот же набор текстонов для всех исследуемых изображений. В результате получается полутоновое изображение, каждый пиксель которого обозначает ближайший центр кластера. Примеры полученных изображений градиентов на рисунке .

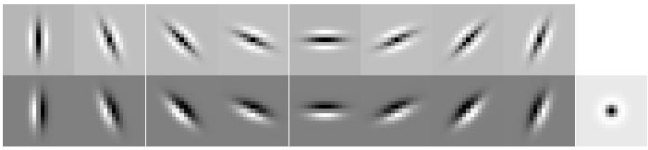


Рис. 3. Изображения фильтров, используемых для вычисления текстурного канала

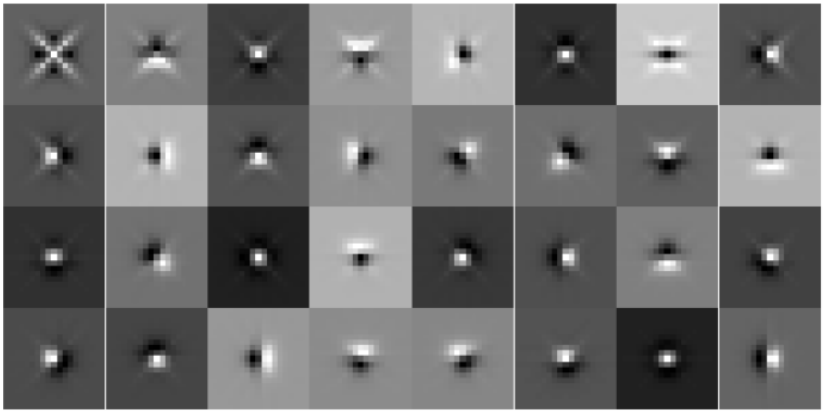


Рис. 4. Изображения текстонов, получаемых при кластеризации пикселей изображения

Признаковые карты могут использоваться, например, в методе mPb:

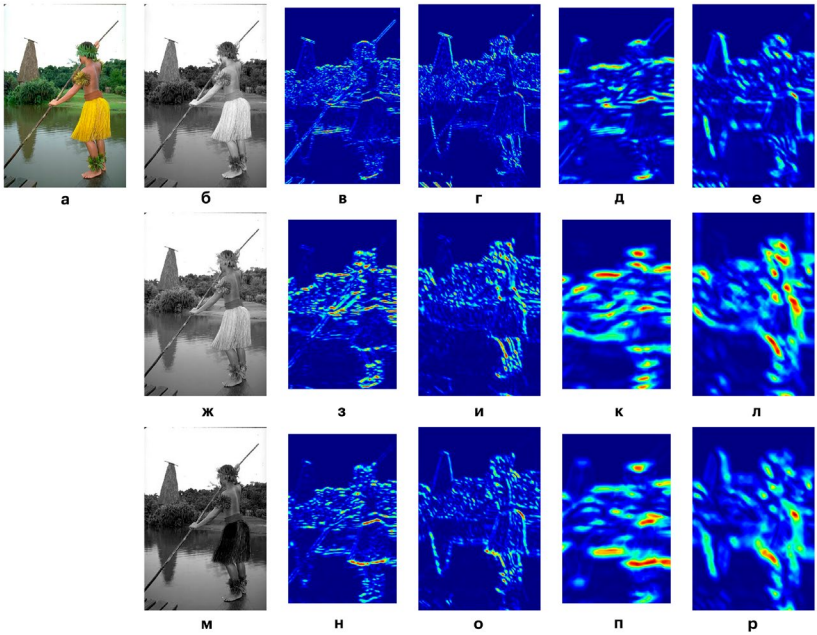
$$mPb(x, y, \theta) = \sum_i \sum_s \alpha_{i,s} G_{i,\sigma(i,s)}(x, y, \theta), \quad (2)$$

где s – индекс масштаб, i – индекс канала изображения (яркостный L, цветовые a и b, текстурный), $\sigma(i,s)$ – радиус диска с центром в точке

(x, y). Коэффициенты $\alpha_{i,s}$ могут быть получены с помощью логистической регрессии, как в работе [7], так и с помощью градиентного спуска, как в работе [11]. Итоговый отклик алгоритма получается после применения операции максимума по оси направлений:

$$mPb(x, y) = \max_{\theta}\{mPb(x, y, \theta)\} \tag{3}$$

Также полученные карты могут комбинироваться с использованием глубоких нейросетей для нахождения контуров.



а – исходное изображение; б, ж, м – яркостный, цветовой канал «a», цветовой канал «b», соответственно; в-г, з-и, н-о – градиентные карты с половинным радиусом; д-е, к-л, п-р – градиентные карты с удвоенным радиусом; в, з, н, д, к, п – направление градиентов – 0 градусов; г, и, о, е, л, р – направление градиентов – 45 градусов

Рис. 5. Примеры созданных градиентных карт

3. Уменьшение вычислительных затрат

Без оптимизаций алгоритмическая сложность вычисления одной признаковой карты с радиусом диска r для изображения с суммарным

количеством пикселей N равна $O(Nr^2)$. Эта процедура повторяется для всех 4 каналов, 8 направлений поворота диска и 3 различных радиусов. В работе [11] был предложен ряд оптимизаций, уменьшающих алгоритмическую сложность до $O(N)$ в независимости от радиуса. Во-первых, область в виде диска заменяется на квадратную. Авторы показывают, что точность изменяется не значительно. Вместо изменения угла поворота диаметра, разделяющего диск на два, используется поворот самого изображения. После всех вычислений изображение поворачивается на тот же угол в обратном направлении.

Для быстрого расчета используется кумулятивные суммы для каждого интервала гистограммы отдельно. Пусть F – изображение после поворота на предыдущем шаге. $F^b(x,y)=1$, если значение яркости $F(x,y)$ попадает в интервал b, и $F^b(x,y)=0$, если нет. Тогда интегральное изображение J^b вычисляется как кумулятивная сумма по строкам и столбцам изображения. Общее количество точек прямоугольника с вершинами P, Q, R и S (верхняя левая, верхняя правая, нижняя левая и нижняя правая, соответственно), попавших в интервал b рассчитывается следующим образом:

$$h(b)=J^b(P)+J^b(S)-J^b(Q)-J^b(R) \quad (4)$$

Также стоит отметить, что гистограммы с «жесткими» границами интервалов не слишком хороший способ для оценки распределений яркостей и цветов изображения в данном случае. В исследовании [7] предлагается использовать ядерную оценку плотности распределения. В настоящей работе ядерная оценка заменяется «сглаживанием» гистограмм с дискретизованным на небольшое число точек гауссовским ядром, ограниченным значением в 2σ. Такой подход позволяет значительно снизить вычислительные издержки оценки плотности.

Заключение

Нахождение контуров является достаточно непростой задачей, учитывая разнообразие механизмов их возникновения. Контурные детекторы на основе признаков, спроектированных вручную могут представлять альтернативу классическим, основанным на фильтрации изображений, и нейросетевым детекторам в ряде задач. Рассматриваемые яркостные, цветовые и текстурные признаковые карты могут быть использованы для методов mPb, gPb, также в качестве этапа в качестве первого этапа для нейросетевых методов. Описанные в

работе оптимизации позволяют значительно увеличить вычислительную эффективность получения признаковых карт.

Список литературы

1. Papari, J. Edge and line oriented contour detection: State of the art / J. Papari, N. Petcov // Image and Vision Computing. – 2011. – V. 1. – pp. 79-103.
2. Ganin, Y. N4-fields: Neural network nearest neighbor fields for image transforms / Y. Ganin, V. Lempitsky // Asian Conference on Computer Vision. – 2014.- pp. 536-551.
3. Hwang, J. Pixel-wise Deep Learning for Contour Detection / J. Hwang, T. Liu // CoRR. – 2015. – V. abs/1504.01989.
4. Xie, S. Holistically-nested edge detection / S. Xie, Z. Tu International Journal of Computer Vision. – 2015. – V. 125. – pp. 3-18.
5. Object contour detection with a fully convolutional encoder-decoder network / Yang J. et al. // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – pp. 193-202.
6. Statistical edge detection: Learning and evaluating edge cues / S. Konishi et al // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 2003. – pp. 57-74.
7. Martin, D. Learning to Detect Natural Image Boundaries Using Brightness and Texture / D. Martin, C. Fowlkes, J. Malik // Neural Information Processing Systems. – 2002. – V. 1. – pp. 1255-1262.
8. Martin, D. Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues / D. Martin, C. Fowlkes, J. Malik // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2004. – V. 26. – pp. 530-549
9. Ren, X. Multi-scale Improves Boundary Detection in Natural Images / X. Ren // Computer Vision -- ECCV 2008. –2008. – pp. 533-545.
10. Dollár, P. Supervised learning of edges and object boundaries, in: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition / P. Dollár, Z.Tu, S. Belongie // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2006. – V. 2. – pp. 1964-1971.
11. Contour detection and hierarchical image segmentation / P. Arbelaez et al. // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2011. – V. 33. – pp. 898-916.

Оптимизация частотного спектра сигнала системы связи в условиях узкополосных помех и флуктуационного шума

А. Ф. Евстафиев
Ф. А. Евстафиев, email: evfeal@mail.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Аннотация. *Получены выражения для оценки потенциальной помехоустойчивости и пропускной способности системы связи, в которой форма частотного спектра сигнала выбирается оптимально в соответствии с параметрами узкополосной помехи и флуктуационного шума.*

Ключевые слова: *помехоустойчивость, пропускная способность, узкополосная помеха, остаточная мощность помехи, оптимальная форма спектра.*

Введение

Одной из основных разновидностей помех для систем радиосвязи и других радиотехнических систем (РТС) различного назначения являются мощные узкополосные помехи, существенно ухудшающие достоверность принимаемой информации. Борьба с такими помехами в соответствующих РТС всегда была и остается актуальной и важной научно-технической задачей [1, 2].

В настоящее время не установлено, насколько известные результаты оценки помехоустойчивости и пропускной способности соответствующих РТС, с применением известных методов подавления узкополосных помех, отличаются от потенциально-достижимых значений при оптимальной форме частотного спектра сигнала.

1. Постановка задачи

Рассматривается некоторая гипотетическая РТС, функционирующая в условиях аддитивного взаимодействия сигнала, узкополосной и флуктуационной помех с известными вероятностными и энергетическими характеристиками, в которой форма частотного спектра сигнала выбирается в полном соответствии (оптимально) с параметрами помеховой обстановки. Требуется получить аналитические выражения для оценки потенциальной помехоустойчивости и пропускной способности данной РТС.

© Евстафиев А. Ф., Евстафиев Ф. А., 2025

2. Решение задачи

В классе систем с адаптацией к узкополосным помехам существует некоторая оптимальная (гипотетическая) система, в которой достигается наибольшая величина пропускной способности канала связи при сколь угодно малой вероятности ошибки на информационный символ [3]. Получим данные характеристики системы, в присутствии флуктуационного шума со спектральной плотностью N_0 и узкополосной помехи с энергетическим спектром

$$G(\omega) = G_0 \exp[-\alpha^2(\omega - \omega_{on})^2], \tag{1}$$

где G_0 – значение спектральной плотности помехи на ее несущей частоте ω_{on}; α – параметр, определяющий ширину полосы частот помехи.

При заданной форме спектра помехи максимальная пропускная способность канала связи при сколь угодно малой вероятности ошибки на элемент достигается, когда энергетический спектр сигнала имеет вид [3]:

$$G_c(\omega) = \frac{P_c + P_n}{\Delta f_c} - N(\omega), \tag{2}$$

где P_c и P_n – мощность сигнала и суммарная мощность помех в полосе Δf_c; $N(\omega)$ – результирующий энергетический спектр помехи.

В данном случае $P_n = P_y + P_ш$, где P_y и $P_ш$ – мощность узкополосной помехи и флуктуационного шума, соответственно. Учитывая, что $P_ш = N_0 \Delta f_c$, $N(\omega) = N_0 + G_0 \exp[-\alpha^2(\omega - \omega_0)^2]$, оптимальный энергетический спектр сигнала будет равен:

$$G_c(\omega) = \frac{P_c + P_y}{\Delta f_c} - G_0 \exp\left[-\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right], \quad \omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2} < \omega < \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}. \tag{3}$$

Рассмотрим два случая:

1. Когда $\dfrac{P_C + P_y}{\Delta f_c} \geq G_0 \exp\left[-\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right]$;

2. Когда $\dfrac{P_c + P_y}{\Delta f_c} < G_0 \exp\left[-\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right]$

Получим выражение для вероятности ошибки на элемент, соответствующее первому случаю.

Известно, что квадрат модуля амплитудно-частотного спектра (АЧС) сигнала связан с его энергетическим спектром соотношением [3]:

$$\left|S(j\omega)\right|^2 = \frac{T_c}{2} G_c(\omega), \tag{4}$$

где T_c – длительность сигнала.

Квадрат модуля коэффициента передачи согласованного фильтра равен

$$\left|K(j\omega)\right|^2 = C_0^2 \left|S(j\omega)\right|^2. \tag{5}$$

Подставив в выражение (5) вместо $\left|S(j\omega)\right|^2$ его значение, определяемое выражением (4) с учетом (3), получим:

$$\left|K(j\omega)\right|^2 = \frac{C_0^2 T_c}{2} \left\{ \frac{P_c + P_y}{\Delta f_c} - G_0 \exp\left[-\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right] \right\}. \tag{6}$$

В этом случае энергетический спектр помехи на выходе согласованного фильтра будет равен

$$\begin{aligned} G_{вых}(\omega) = G(\omega)\left|K(j\omega)\right|^2 = \frac{C_0^2 T_c}{2} G_0 \exp - \left[\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right] \times \\ \times \left\{ \frac{P_c + P_y}{\Delta f_c} - G_0 \exp\left[-\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right] \right\}. \end{aligned} \tag{7}$$

При этом остаточная мощность помехи на выходе фильтра будет равна

$$\begin{aligned} P_{ост} = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} G_{вых}(\omega) = \frac{C_0^2 T_c G_0 (P_c + P_y)}{4\pi \Delta f_c} \times \\ \times \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \exp\left[-\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right] d\omega - \frac{C_0^2 G_0^2 T_c}{4\pi} \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \exp\left[-2\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right] d\omega. \end{aligned} \tag{8}$$

Заменяя конечные пределы интегрирования на бесконечные, что допустимо при узкополосной помехе, когда $\alpha > 1$, в результате решения интегралов и некоторых преобразований, окончательно получим [4]:

$$P_{ост} = \frac{C_0^2 G}{4\sqrt{\pi}\alpha\Delta f_c}\left[E_c + \frac{G_0 T_c}{2\sqrt{\pi}\alpha} - \frac{BG_0}{\sqrt{2}}\right], \qquad (9)$$

где E_c – энергия сигнала; $B = \Delta f_c T_c$ – база сигнала.

Вероятность ошибки на элемент при некогерентном приеме определяется выражением [3]:

$$P_0 = \frac{1}{2}\exp\left[-\frac{2E_c / N_0}{4(1 + P_{ост} / P_ш)}\right]. \qquad (10)$$

Учитывая, что $P_ш = C_0^2 E_c N_0 / 2$, а $P_y = G_0 / 2\sqrt{\pi}\alpha$ при подстановке (9) в (10) окончательно получим:

$$P_0 = \frac{1}{2}\exp\left\{-\frac{2E_c / N_0}{4\left\{1 + \frac{P_y}{P_ш E_c}\left[E_c + P_y T_c - G_0 \frac{B}{\sqrt{2}}\right]\right\}}\right\}. \qquad (11)$$

Рассмотрим второй случай. Особенностью этого случая является то, что при некоторых ω, $G_c(\omega)$ может оказаться отрицательным, чего быть не должно. Для таких областей ω необходимо положить $G_c(\omega) = 0$ и найти оптимальный $G_c(\omega)$ вне этой области. В результате полоса частот Δf_c разбивается на отдельные участки. Для определения границ этих участков необходимо решить следующее уравнение относительно ω:

$$G_0 \exp\left[-\alpha^2(\omega - \omega_0)^2\right] = \frac{P_c + P_y}{\Delta f_c}. \qquad (12)$$

В результате его решения, получим:

$$\omega_{1,2} = \omega_0 \pm \frac{1}{\alpha}\sqrt{-\ln\frac{P_c + P_y}{G_0 \Delta f_c}}. \qquad (13)$$

При этом остаточная мощность помехи на выходе фильтра будет равна

$$P_{ост} = \frac{1}{2\pi}\left[\int\limits_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega} G_{вых}(\omega)d\omega + \int\limits_{\omega_2}^{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}} G_{вых}(\omega)d\omega\right]. \qquad (14)$$

При равномерном спектре сигнала в полосе Δf_c и при равенстве средних частот сигнала и помехи имеет место следующее равенство:

$$\int\limits_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_1} G_{вых}(\omega)d\omega = \int\limits_{\omega_2}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} G_{вых}(\omega)d\omega. \qquad (15)$$

Тогда с учетом (15), получим:

$$P_{ост} = \frac{1}{\pi}\int\limits_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_1} G_{вых}(\omega)d\omega. \qquad (16)$$

При подстановке в (16) вместо $G_{вых}(\omega)$ его значения, определяемого выражением (7), и после ряда преобразований, окончательно получим:

$$P_{ост} = \frac{C_0^2 G_0 T_c}{4\sqrt{\pi}\alpha}\left\{\frac{P_c + P_y}{\Delta f_c}\left[1-\varphi\left(\sqrt{-\ln\frac{P_c+P_y}{G_0\Delta f_c}}\right)\right]-\right.$$
$$\left.-\frac{G_0}{\sqrt{2}}\left[1-\varphi\left(\sqrt{-2\ln\frac{P_c+P_y}{G_0\Delta f_c}}\right)\right]\right\}, \qquad (17)$$

где $\varphi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int\limits_0^x \exp(-t)^2 dt$ – интеграл вероятности.

При этом вероятность ошибки на элемент будет равна [5]

$$P_0 = \frac{1}{2}\exp\left\{-\frac{2E_c/N_0}{4\left\{1+\frac{P_y}{P_c N_0}\left\{\frac{P_c+P_y}{\Delta f_c}\left[1-\varphi\left(\sqrt{-\ln\frac{P_c+P_y}{G_0\Delta f_c}}\right)\right]\right.\right.\right.\times$$

$$\left.\left.\left.\times\frac{1}{\frac{G_0}{\sqrt{2}}\left[1-\varphi\left(\sqrt{-2\ln\frac{P_c+P_y}{G_0\Delta f_c}}\right)\right]}\right\}\right\}\right\}. \qquad (18)$$

При заданной форме спектра помехи $N(\omega)$ и оптимальном спектре сигнала, выражение для пропускной способности канала связи имеет вид [3]:

$$C = \frac{1}{2\pi}\int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} \ln\left[\frac{P_c+P_n}{\Delta f_c N(\omega)}\right]d\omega \qquad (19)$$

Здесь также необходимо рассмотреть два случая.

Рассмотрим первый случай. Выражение (19) перепишем в виде:

$$C = \frac{1}{2\pi}\left\{\int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} \ln\left(\frac{P_c+P_n}{\Delta f_c}\right)d\omega - \int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} \ln N(\omega)d\omega\right\}. \qquad (20)$$

Используя разложение функции натурального логарифма в степенной ряд и, пренебрегая в этом разложении степенями аргумента больше единицы, можно показать, что пропускная способность канала связи будет равна:

$$C \approx 1{,}443\left\{\Delta f_c\left[\ln\left(\frac{P_c+P_n}{\Delta f_c G_0}\right)-\frac{3N_0}{G_0}+\frac{11}{6}\right]-\frac{3}{2\sqrt{\pi\alpha}}\right\}. \qquad (21)$$

Аналогично можно показать, что выражение для пропускной способности канала связи, соответствующее второму случаю будет иметь вид:

$$C \approx 4{,}329\left\{\left(\Delta f_c - \frac{1}{\pi\alpha}\sqrt{\frac{11}{6} - 3\frac{P_C + P_y}{G_0\Delta f_c}}\right)\left(\frac{P_c + P_y}{G_0\Delta f_c} - \frac{N_0}{G_0}\right) - \right.$$
$$\left. - \frac{1}{2\sqrt{\pi}\alpha}\left[1 - \varphi\left(\sqrt{\frac{11}{6} - 3\frac{P_c + P_y}{G_0\Delta f_c}}\right)\right]\right\}. \qquad (22)$$

3. Анализ полученных результатов

На рисунке 1 представлена эпюра оптимальной формы энергетического спектра сигнала $G_c(\omega)$ в гипотетической системе при заданной форме энергетического спектра узкополосной помехи $G_n(\omega)$.

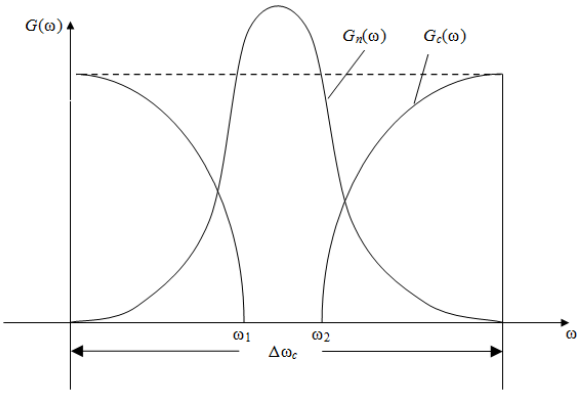


Рис. 1. Поведение спектров сигнала и узкополосной помехи в оптимальной (гипотетической) системе

На рисунке 2 представлены характеристики зависимости относительной информационной скорости R/C передачи информации в гипотетической системе от вероятности ошибки на элемент P_0 для различных значений нормированной полосы частот узкополосной помехи γ. Здесь R – аппаратурная скорость передачи информации; C – пропускная способность канала связи, соответствующая случаю мощной узкополосной помехи; $\gamma = \Delta f_n / \Delta f_c$, где Δf_n, Δf_c – полоса частот помехи и сигнала соответственно. Из рисунка 2 следует, что увеличение нормированной полосы частот помехи приводит к пропорциональному уменьшению относительной информационной

скорости. Так, например, при вероятности ошибки $P_0 = 10^{-3}$ увеличение γ в три раза, от $\gamma = 0{,}05$ до $\gamma = 0{,}15$ приводит к уменьшению относительной скорости передачи информации от $R/C = 0{,}17$ до $R/C = 0{,}07$ соответственно. Для увеличения R/C (приближения скорости передачи информации к пропускной способности канала) необходимо использовать сигналы с объемом алфавита $m > 2$, или (и) применять соответствующие методы уплотнения каналов связи, так как пропускная способность, в принципе, позволяет это реализовать.

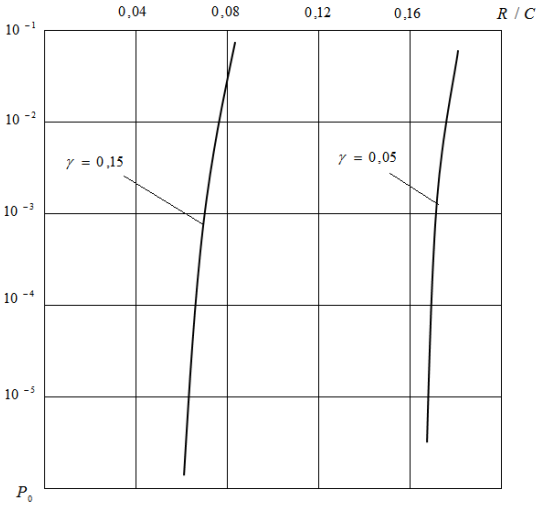


Рис. 2. Зависимость относительной скорости передачи информации от вероятности ошибки на элемент в гипотетической системе

4. Заключение. Обобщение и применение результатов

Представленная в статье методика и соответствующий математический аппарат позволяют вычислить потенциально-достижимые значения помехоустойчивости и пропускной способности соответствующих РТС в условиях воздействия активных узкополосных помех.

Полученные в статье результаты можно использовать как базовые для оценки эффективности соответствующих РТС с различными способами подавления узкополосных помех по комплексному критерию,

учитывающему неявную функциональную связь относительной информационной скорости и помехоустойчивости системы.

Список литературы

1. Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

2. Защита от радиопомех; под ред. М. В. Максимова. – М.: Сов. радио, 1976. – 496 с.

3. Финк, Л. М. Теория передачи дискретных сообщений / Л. М. Финк. – М.: Сов. радио, 1970. – 726 с.

4. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – М.: Наука, 1971. – 1108 с.

5. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Академия, 2003. – 576 с.

Выявление фейковых новостей на русском языке с использованием предобученных трансформеров

Д. В. Жуков, email: stud0000228135@utmn.ru
А. А. Акимцев, email: stud0000293744@utmn.ru
Т. Ю. Чернышева, email: t.y.chernysheva@utmn.ru

Тюменский государственный университет

Аннотация. *Рассмотрена задача автоматического выявления фейковых новостей на русском языке с использованием предобученных трансформеров. Проанализированы пять современных моделей трансформеров. В результате проведённого исследования удалось достичь высокой точности классификации.*

Ключевые слова: *фейковые новости, модели нейронных сетей, классификация новостей, модели BERT.*

Введение

Фейковые новости – это контент, имитирующий формат и стиль настоящих новостных сообщений, но содержащий полностью выдуманные или существенно искаженные факты. Они активно распространяются в Интернете и социальных сетях, эксплуатируя доверие аудитории. Как отмечается в исследовании [1], причины, по которым люди склонны верить фейковым новостям, кроются в когнитивных особенностях восприятия, таких как предвзятость и недостаток аналитического мышления. Фейковые новости в социальных сетях приобретают все большее влияние, так как их частое появление делает людей привычными к ним, тем самым снижая их критическое восприятие. Это представляет угрозу для общества, особенно в политической и социальной сферах, где дезинформация может усугубить разногласия и распространить недоверие.

Однако современные технологии предоставляют мощные инструменты для борьбы с этой проблемой. Одним из наиболее перспективных подходов является использование предобученных трансформеров, а именно модели семейства BERT, которые демонстрируют высокую точность в анализе текста [2]. Эти модели могут выявлять ложную информацию, используя сложные семантические связи и лингвистические паттерны.

Целью данного исследования является разработка и оценка методов автоматического выявления фейковых новостей на русском языке с

© Жуков Д. В., Акимцев А. А., Чернышева Т. Ю., 2025

использованием предобученных трансформеров. Это позволит защитить информационное пространство от распространения искаженной информации.

Материалы и методы

Одной из основных задач исследования стал сбор сбалансированного датасета, включающего 4000 текстов новостей. В его состав вошли 2000 фейковых новостей на темы политики и экономики, взятых с сатирического сайта «Панорама» [3], а также 2000 реальных новостей на аналогичные темы, собранных с сайта «Лента.Ру» [4]. Для обеспечения независимости итоговой проверки модели был подготовлен отдельный тестовый набор данных. Фейковые новости для теста были сгенерированы с использованием ChatGPT o1-preview, что позволило добавить искусственно созданные примеры, имитирующие реальные условия. Реальные новости для теста были собраны с сайта «РБК.ру» [5], чтобы сохранить тематическую и стилистическую близость к данным из обучающего набора.

Для получения текстов новостей использовались специализированные парсеры, разработанные для каждого из источников. Парсер для сайта «Панорама» с помощью Selenium собирал ссылки на статьи через автоматизированные переходы между страницами сайта и извлекал тексты из HTML-элементов. Для сайта «Лента.Ру» была реализована прокрутка страницы с автоматическим нажатием на кнопку «Показать ещё», а тексты извлекались из элементов с определенным классом. Парсер для сайта «РБК.ру» также применял Selenium, но использовал XPath для поиска статей и очищал текст от ненужных вставок. Такой подход обеспечил высокое качество и разнообразие собранного материала, что особенно важно для надежности обучающей выборки и проверки обобщающей способности модели.

После того, как новости были спарсены и сохранены в отдельных CSV-файлах, началась их обработка для подготовки итогового датасета. Реальные и фейковые новости хранились в разных файлах, поэтому сначала выполнялось их объединение. Для этого с помощью библиотеки pandas из указанных директорий загружались все файлы, после чего данные из них объединялись в единую таблицу. Для каждого типа новостей добавлялась колонка label, чтобы обозначить их класс: фейковым новостям присваивалась метка «1», а реальным – метка «0». После присвоения меток объединенные данные сохранялись в новые файлы, которые затем использовались для формирования датасета. Этот процесс обеспечил четкое разделение классов и подготовил данные для последующего обучения и тестирования классификационных моделей.

Для проведения экспериментов и анализа эффективности моделей в задаче классификации фейковых новостей были выбраны пять популярных NLP-моделей, которые представляют разные подходы к обработке текстов. Каждая из этих моделей обладает уникальными особенностями, что делает их особенно интересными для исследования в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и небольших объемов данных. Выбранные модели отличаются высокой адаптацией к обработке текстов на русском языке, а также наличием подробной документации [6-8].

Табл. 1 содержит основные характеристики выбранных моделей: количество слоев, размер скрытого слоя, количество параметров и текстовые данные, использованные для предобучения модели.

Таблица 1

Характеристики выбранных моделей

Модель	**Слои**	**Размер скрытого слоя**	**Пара-метры**	**Данные, на которых были обучены модели**
DeepPavlov/ rubert-base-cased	12	768	110M	Русская Википедия и новостные статьи
sberbank-ai/ruRoberta-large	24	1024	355M	Около 170 ГБ русскоязычных текстов: Википедия, книги, новости, веб-страницы
xlm-roberta-base	12	768	125M	Данные Common Crawl на 100 языках
bert-base-multilingual-cased	12	768	110M	Данные Википедии на 104 языках
distilbert-base-multilingual-cased	6	768	66M	Данные Википедии на 104 языках

Процесс обучения нейронной сети состоит из пяти этапов. На первом этапе проводится подготовка данных, включающая предварительную очистку текста. Несмотря на то, что трансформеры эффективно справляются с «шумом» в данных, таким как пунктуация и различия в регистре, этот шаг улучшает качество входных данных и снижает их избыточность. На данном этапе удаляются такие элементы,

как URL-адреса, теги разметки и символы, не имеющие семантического значения для задачи.

На втором этапе осуществляется разбиение датасета на обучающий и валидационный наборы. Обычно 80% данных выделяется для обучения, а оставшиеся 20% – для валидации. Такое деление позволяет оценивать модель на ранее не виденных данных и помогает избежать переобучения в процессе тренировки.

На третьем этапе текст преобразуется в числовые последовательности с помощью токенизатора. Токенизация – это процесс преобразования текста в токены, которые могут быть обработаны нейронной сетью.

Четвёртый этап посвящён обучению модели с использованием алгоритма оптимизации Adam. Ключевые параметры обучения, такие как скорость обучения, размер батча и количество эпох, задаются в объекте конфигурации TrainingArguments, который управляет процессом обучения.

Наконец, на пятом этапе загружается предобученная модель, которая дообучается на подготовленных данных. Модель обучается в течение двух эпох, чтобы сбалансировать эффективность обучения и риск переобучения. Учитывая небольшой размер датасета, дополнительное количество эпох может привести к переобучению, а меньшее количество может не позволить захватить достаточную динамику обучения. После каждой эпохи модель сохраняется, чтобы обеспечить возможность анализа результатов на разных этапах обучения.

Модели обучались с использованием параметров, заданных в классе TrainingArguments из библиотеки Hugging Face Transformers. Эти параметры определяют конфигурацию процесса обучения, включая стратегию сохранения и оценки модели, скорость обучения, количество эпох и другие важные аспекты. Конфигурация представлена в коде ниже.

Листинг

Класс TrainingArguments

```
training_args = TrainingArguments(
    output_dir=f'./results/{model_name.replace("/", "_")}',
    evaluation_strategy='epoch',
    save_strategy='epoch',
    learning_rate=2e-5,
    per_device_train_batch_size=16,
    per_device_eval_batch_size=16,
    num_train_epochs=2,
    save_safetensors=True,
```

```
    weight_decay=0.01,
    load_best_model_at_end=True,
    metric_for_best_model='accuracy',
    logging_dir=f'./logs/{model_name.replace("/", "_")}',
    logging_steps=50
)
```

Результаты

После дообучения моделей на собственном датасете мы получили результаты, приведённые в табл. 2.

Таблица 2

Результаты работы моделей

Модель	Точность	Время выполнения, сек
DeepPavlov/rubert-base-cased	99,21%	5,14
sberbank-ai/ruRoberta-large	99,21%	18,91
xlm-roberta-base	98,03%	5,76
bert-base-multilingual-cased	97,11%	5,65
distilbert-base-multilingual-cased	93,82%	2,81

Для сравнения моделей мы выбрали два параметра:

1. Точность (Accuracy) – это доля правильно классифицированных примеров относительно общего числа примеров в тестовом наборе данных. Этот показатель измеряет общую способность модели правильно определять класс каждого текста;

2. Время выполнения (Runtime) – это общее время, затраченное моделью на выполнение оценки на тестовом наборе данных. Оно измеряется в секундах и отражает вычислительную эффективность модели. Меньшее значение runtime указывает на более быструю обработку данных [9].

Для оценки качества разработанной модели классификации фейковых и реальных новостей проведен эксперимент на тестовом наборе данных, которые не участвовали в дообучении модели.

Модель продемонстрировала высокую точность (accuracy) – 85%. Значение precision и recall для класса "реальные новости" (метка 0) составили 88% и 82% соответственно, а для класса "фейковые новости" (метка 1) — 83% и 89%. Результаты классификации представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты классификации модели на тестовой выборке

Класс	Precision	Recall	F1-Score
Реальные новости (0)	88%	82%	85%
Фейковые новости (1)	83%	89%	86%
Точность модели на тестовых данных:			85%

На рисунке показана матрица ошибок. Согласно матрице ошибок, модель правильно классифицировала 82 из 100 реальных новостей и 89 из 100 фейковых новостей. При этом 18 реальных новостей были ошибочно классифицированы как фейковые, а 11 фейковых – как реальные. Эти результаты показывают, что модель обладает хорошей способностью различать фейковые и реальные новости, но при этом имеет тенденцию к небольшой переоценке количества фейковых новостей.

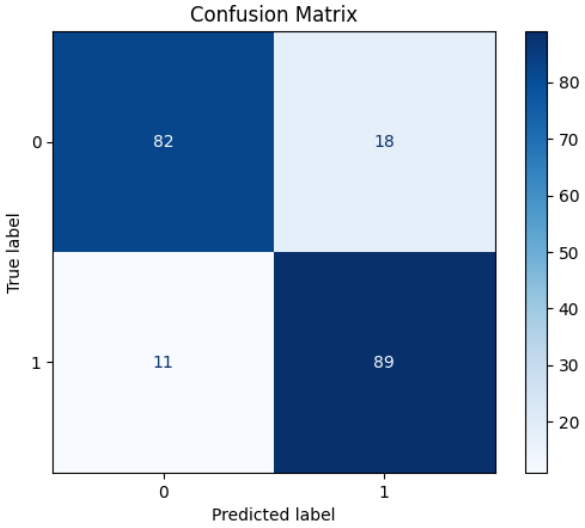


Рисунок. Матрица ошибок классификации для тестовой выборки

Данный эксперимент подтверждает применимость модели для задач автоматического детектирования фейковых новостей на реальных данных, включая как созданные искусственно тексты, так и тексты с общеизвестных источников.

Обсуждение

Модель DeepPavlov/rubert-base-cased показала наилучшие результаты среди всех моделей. Высокое значение точности подтверждает её эффективность в обнаружении ложных и реальных новостей, а сравнительно небольшое время выполнения делает её оптимальным выбором для задач, требующих баланса между точностью и производительностью.

Модель sberbank-ai/ruRoberta-large продемонстрировала аналогично высокие метрики качества, но оказалась существенно более ресурсоёмкой. Её время выполнения почти в четыре раза больше, чем у DeepPavlov/rubert-base-cased, что делает её менее подходящей для задач, где скорость обработки критична. Однако её сложная архитектура и большой объём параметров могут обеспечить более высокую способность к выявлению сложных паттернов в данных.

Мультиязычные модели, такие как xlm-roberta-base и bert-base-multilingual-cased, показали более низкие результаты точности, что связано с их универсальной архитектурой, не оптимизированной для русского языка. Тем не менее, они менее ресурсоёмки, что делает их приемлемым выбором для задач с ограниченными вычислительными ресурсами.

DistilBERT-base-multilingual-cased продемонстрировала наименьшую точность, несмотря на самое быстрое время выполнения. Упрощённая архитектура и меньшее количество параметров этой модели обеспечивают высокую скорость и низкую ресурсоёмкость, но при этом снижают её способность эффективно работать с задачами на русском языке. Она может быть использована для задач, где приоритетом являются скорость и минимальное потребление ресурсов, а не качество классификации.

Таким образом, DeepPavlov/rubert-base-cased выделяется как наиболее сбалансированный вариант, предоставляя высокую точность и эффективность при разумных требованиях к ресурсам.

Заключение

Исследование продемонстрировало, что использование предобученных трансформеров является перспективным подходом для автоматического выявления ложных новостей на русском языке. Среди проанализированных моделей наилучшие результаты показала DeepPavlov/rubert-base-cased, обеспечив высокий уровень точности и вычислительной эффективности. Это подтверждает её применимость для реальных задач информационной безопасности и борьбы с дезинформацией.

В будущем данное направление исследований может быть значительно расширено. Одним из возможных шагов является интеграция анализа текстовых данных с анализом изображений, которые часто сопровождают новостной контент и могут содержать дополнительные признаки фейковости. Например, обнаружение изменённых фотографий или манипуляций с визуальным содержимым может усилить общую систему классификации.

Другой перспективной областью является использование социальных графов для анализа источников новостей и их распространения в сети. Изучение взаимосвязей между пользователями, репостами и комментариями позволит учитывать контекст распространения новостей, что особенно важно для социальных сетей.

Наконец, интеграция анализа текстов, изображений и социальных графов в единую мультиканальную систему может стать важным этапом в развитии инструментов детекции дезинформации. Такой подход обеспечит комплексный анализ, повышая точность и надёжность классификации.

Совокупность этих направлений открывает широкие возможности для улучшения методов борьбы с фейковыми новостями и защиты информационного пространства.

Список литературы

1. Pennycook, G. The psychology of fake news / G. Pennycook, D. G. Rand // Trends in cognitive sciences. – 2021. – Т. 25. – №. 5. – С. 388-402.

2. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding [Электронный ресурс] / J. Devlin [and all] : Computing Research Repository (CoRR), 2019. – Режим доступа : https://arxiv.org/abs/1810.04805

3. Информационное агентство «Панорама» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://panorama.pub/

4. Новостной сайт «Лента.ру» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://lenta.ru/

5. Новостной сайт «РБК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rbc.ru/

6. A Family of Pretrained Transformer Language Models for Russian [Электронный ресурс] / D Zmitrovich [and all] : Computing Research Repository (CoRR), 2024. – Режим доступа : http://arxiv.org/abs/2309.10931

7. Adaptation of Deep Bidirectional Multilingual Transformers for Russian Language [Электронный ресурс] / Y. Kuratov [and all] : Computing Research Repository (CoRR), 2019. – Режим доступа : https://arxiv.org/abs/1905.07213

8. Shentsov, Y. A. Application of speech recognition and autoreference models for logging tasks / Y. A. Shentsov, T. Y. Chernysheva, G. B. Barskaya // Third International Conference on Optics, Computer Applications, and Materials Science (CMSD-III 2023). – 2024. – T. 13065. – P. 7-13.

9. Tuvshinjargal A. ML vs DL: Accuracy and Testing Runtime Trade-offs in BCI / A. Tuvshinjargal, E. Kim // International Conference on Human-Computer Interaction. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2022. – P. 497-511.

Использование анализатора волн и методики извлечения информационного содержания для анализа сейсмических волн

Д. Д. Захарченко, email: qwertykaj@mail.ru
Н. Е. Балакирев, email: balakirev1949@yandex.ru
М. М. Фадеев, email: fadeev_mix@bk.ru

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Аннотация. *В данной работе рассматриваются вопросы использования возможностей разработанного инструментария ВОЛНАН и множества исполнителей-модулей для анализа и извлечения информационного содержания. Широкие возможности инструментария позволяют систематизировать большой поток данных с учетом предметной области сейсмики. Все это позволяет автоматизировать процесс анализа данных после проведения соответствующего множества экспериментов.*

Ключевые слова: *Информационное содержание, сейсмограмма. система отношений, характеристики, параметры, фрагменты.*

Введение

Исследуя вопросы распознавания речи и других звуковых единиц, было установлено, что, используя инструментарий и предлагаемые методы для извлечения информационного содержания волн можно применить их и для других видов волн. Существуют некоторые юридические и прочие ограничения, которые не позволяют получения реальных данных для многих видов волн, например медицинские данные. К счастью, оказалась доступной сейсмическая информация, которая в открытом доступе, но не от всех государств. Используя такие открытые источники, была поставлена задача проанализировать те характеристики, которые предшествуют землетрясению и постараться классифицировать их в разных вариантах. Кроме этого, протестировать программный комплекс анализатор волн (ВОЛНАН) и разработанные модели и методы на примере анализа сейсмических волн.

В современном мире, где природные катаклизмы становятся всё более частыми и разрушительными, анализ сейсмологических данных приобретает особую актуальность.

© Захарченко Д. Д., Балакирев Н. Е., Фадеев М. М., 2025

Сейсмология как наука занимается изучением землетрясений, их причин, механизмов возникновения и распространения сейсмических волн. Наша же задача состоит в том, чтобы облегчить и автоматизировать анализ сейсмологических данных особенно в процессе наблюдения, так быстрое обнаружение характерных особенностей характеристик позволит вовремя оповестить население. Безусловно, нам потребуются минимальные сведения и основные понятия сейсмологической науки, в терминах которой будет выделяться информационное содержание сейсмограмм.

1. Основные понятия сейсмики

Землетрясение – подземные толчки и колебания земной поверхности, вызванные тектоническими процессами в литосфере Земли.

Очаг землетрясения (гипоцентр) – область возникновения подземного удара в толще земной коры или верхней мантии.

Эпицентр – проекция гипоцентра на поверхность Земли. Это место на поверхности Земли, которое находится непосредственно над очагом землетрясения.

Сейсмическая волна – распространяющиеся в Земле механические колебания, которые возникают при землетрясениях. Сейсмические волны делятся на объёмные (продольные и поперечные) и поверхностные.

Продольная волна (P-волна) – волна сжатия и растяжения, которая движется вперёд-назад в направлении распространения. Продольные волны могут проходить через любые материалы, включая жидкости и газы.

Поперечная волна (S-волна) – волна, колеблющаяся перпендикулярно направлению распространения, может проходить только через твёрдые тела.

Магнитуда землетрясения – величина, характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн. Магнитуда определяется по шкале Рихтера.

Интенсивность землетрясения – мера воздействия землетрясения на объекты, людей и окружающую среду.

Сейсмограмма – это запись, полученная в результате сейсмических исследований. Она представляет собой набор данных, представленных как графическое изображение колебаний, вызванных сейсмическими волнами, которые возникают при землетрясениях или искусственных взрывах. Такие записи записываются с помощью сейсмометров, которые фиксируют скорости смещений грунта и ускорения смещений в трех направлениях: север-юг, запад-восток и вертикальные смещения.

2. Определение информационного содержания сейсмограмм.

Первым шагом адаптации под сейсмические волны, стало переформатирование интерфейса, разработанного под звуковые волны и их фиксацию. Для звука мы имеем фиксацию данных от 11000 до 44000 значений, то в сейсмике это около 100 значений. А значения амплитуд в более широком диапазоне. Такие настройки инструмента были произведены и на рисунке 1 представлена сейсмограмма землетрясения из набора данных STanford EArthquake Dataset (STEAD) [1]. В этих данных помимо информации о станциях также содержатся сведения о землетрясении (например, время возникновения, эпицентральное местоположение, глубина, магнитуда, тип магнитуды, механизм очага, времена прихода P- и S-волн, оценочные погрешности и т. д.) и зарегистрированном сигнале (например, измерение отношения сигнал/шум для каждой компоненты, конец доминирующей энергии сигнала (coda-end) и эпицентральное расстояние). И эти сведения потребовали также адаптации инструментария и использование его в новом ключе. Матричная основа фиксации данных инструмента позволяет по горизонтали указать географические точки землетрясения, а по горизонтали его проявление согласно дате такого события. Кроме этого, разные уровни анализа данных, реализованные в инструментарии ВОЛНАН, позволяют произвести градацию по силе магнитуды, для которой могут быть применены специфические алгоритмы и методы выделения информационного содержания.

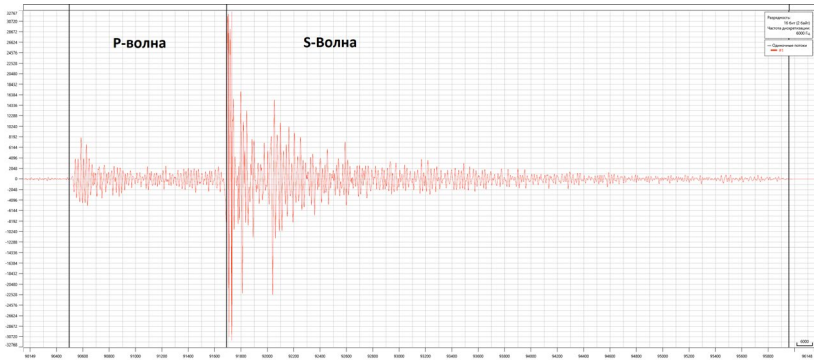


Рис. 1. Содержание сейсмограммы землетрясения

В точке пересечения сейсмограмма землетрясения позволяет уже на первом этапе анализа зафиксировать относительно очага землетрясения и момента этого события:

– магнитуду;

– тип магнитуды;
– энергию землетрясения;
– механизм очага;
– координаты эпицентра;
– времена прихода P- и S-волн.

На следующем этапе фиксируемые данные можно разделить условно на три части: спокойное состояние земной коры, предтеча развертывания землетрясения и колебание земной коры в момент землетрясения. Средствами ВОЛНАН все три участка можно разметить и определить «координаты» таких участков. К этим участкам можно применить наборы разработанных исполнителей (модулей DLL) для звука по фрагментации каждого участка с получением широкого набора качественных и количественных характеристик, характеризующие эти участки. На рисунке 2 представлен пример такого выделения.

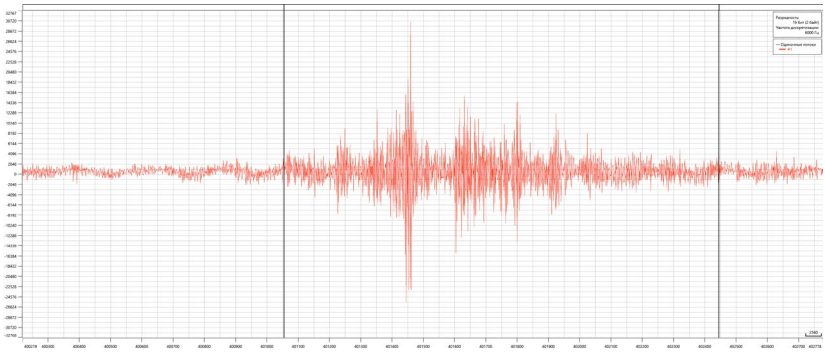


Рис. 2. Пример сейсмограммы землетрясения

3. Определение информационного содержания сейсмограмм

Нахождение параметров, в пределы которых попадают вышеуказанные характеристики, позволяет уже в автоматическом режиме выделять такие участки. С помощью инструмента ВОЛНАН сейсмограмма была масштабирована по звуковой файл. В данном представлении сейсмограмму можно «прослушивать» в частотах звукового диапазона, что может быть использовано для мониторинга землетрясений. Таким образом, можно выделять информационное содержание [2] трех разных по содержанию участков. Алгоритм извлечения информационного содержания состоит из следующих шагов.

Выбор характерных элементов, определяющих общий каркас информационного содержания.

На основе его формирование первичных структур, описывающих этот поток через систему отношений, с сохранением количественных и качественных характеристик в виде фиксированного фрагмента [3].

Эмпирическое выделение совокупных участков-фрагментов, составленных из последовательности фиксированных фрагментов и назначение им информационного содержания.

Через анализ и обобщение характеристик фиксированных фрагментов, входящих в совокупный участок-фрагмент [2], формирование параметров, для имеющих одно и то же содержание таких фрагментов.

Реализация алгоритма объединения последовательности фиксированных фрагментов в совокупные фрагменты по значению характеристик, соответствующих назначаемым параметрам.

На основе реализованного алгоритма автоматическая выборка подобных совокупных фрагментов, и назначение им соответствующего информационного содержания в автоматическом режиме.

Заключение

Первые шаги реализованы. Требуется большое количество экспериментов по анализу данных, что приведет к автоматизации определения опасного состояния земной коры и на их основе предсказывать землетрясения.

Список литературы

1. Mousavi, S. M. A Global Data Set of Seismic Signals for AI / Mousavi S. M., Zhu W., Sheng Y. and Beroza G. C. // AGU Fall Meeting Abstracts. – 2019. – pp. S52A-01.
2. Балакирев, Н. Е. Количественная и качественная оценка исследуемых объектов на примере простейших отношений / Н. Е. Балакирев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ информационные технологии. – 2016. – № 2. – С. 70-77.
3. Фадеев, М. М. Система отношений как базовая основа качественного подхода при структуризации волн / М. М. Фадеев, Н. Е. Балакирев // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики сборник трудов Международной научной конференции. – Воронеж, 2024 – Издательство: Общество с ограниченной ответственностью «Вэлборн» – С.1464-1470.
4. Пойгина, С. Г. Сильные землетрясения Земли / Пойгина С. Г., Петрова Н. В., Болдырева Н. В. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 273– 291.
5. Сывороткин, В. Л. Землетрясения [Электронный ресурс] : Пространство и Время. – 2011. – №2. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/zemletryaseniya-1

Использование метода prompt engineering для создания корпоративных интеллектуальных ассистентов на основе готовых языковых моделей

А. А. Зюзин, email: anton.zyuzin@gmail.com
А. В. Швырева, email: shvyreva@cs.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В статье рассматривается использование готовых языковых моделей без их дообучения с применением заранее заданных инструкций (prompt engineering). Анализируются преимущества и недостатки данного подхода в сравнении с fine-tuning. Представлены методы управления поведением модели посредством инженерии промптов и приведен пример чат-ассистента созданного на основе prompt engineering.*

Ключевые слова: *языковые модели, prompt engineering, fine-tuning, интеллектуальные ассистенты, обработка естественного языка.*

Введение

Языковые модели на основе трансформеров демонстрируют высокую эффективность в обработке естественного языка. Обучение с нуля или дообучение требует значительных вычислительных ресурсов и временных затрат. В связи с этим активно исследуется возможность использования готовых моделей без дополнительного обучения с применением заранее заданных инструкций (prompt engineering) [1]. Данный метод позволяет адаптировать модели к конкретным задачам при минимальных затратах на разработку и эксплуатацию.

Одним из перспективных направлений применения таких моделей является создание интеллектуальных ассистентов для компаний. Корпоративные ассистенты могут выполнять широкий спектр функций: от автоматизированного ответа на запросы клиентов до помощи сотрудникам в обработке данных и принятии решений. Использование заранее подготовленных инструкций позволяет настраивать поведение модели без необходимости изменения её параметров, что делает внедрение таких решений более доступным и гибким.

В данной работе рассматривается подход к созданию корпоративного ассистента на основе готовых языковых моделей без их дообучения. Особое внимание уделяется методам инженерии промптов.

© Зюзин А. А., Швырева А. В., 2025

1. Подходы с fine-tuning и их недостатки

Fine-tuning представляет собой процесс дообучения модели на специализированных данных, что обеспечивает её адаптацию к конкретным задачам. Основные недостатки данного метода включают высокие вычислительные затраты, необходимость подготовки размеченного корпуса данных и снижение универсальности модели. Дообученные модели сложны в обновлении и требуют повторного обучения при изменении требований к системе [2].

2. Использование инструкций и их преимущества

Метод prompt engineering позволяет управлять поведением модели без изменения её параметров [3]. Данный подход снижает вычислительные затраты. Изменение поведения модели достигается за счёт корректировки промптов, что обеспечивает адаптацию системы без необходимости сбора и аннотирования больших объемов данных. Это делает метод эффективным для быстро изменяющихся бизнес-процессов, где критична оперативная адаптация.

3. Обзор инструментов для создания ассистента на основе prompt engineering

Для создания чат-ассистента с использованием подхода prompt engineering, одной из эффективных библиотек является LlamaSharp для платформы .NET. Данная библиотека предоставляет интерфейс для взаимодействия с моделями на основе LLaMA, что позволяет интегрировать генеративные возможности в приложения, работающие в рамках экосистемы .NET [4]. В процессе разработки чат-ассистента с использованием LlamaSharp основным элементом является формирование запросов (prompts), которые служат для генерации ответов моделью. В отличие от стандартного подхода, при котором prompt задается вручную для каждого запроса, можно вынести инструкции в JSON-файл, что существенно упрощает поддержку и изменение логики работы ассистента.

Использование JSON-файла для хранения инструкций позволяет модифицировать логику работы ассистента, адаптируя её под новые задачи или уточняя контекст, в котором происходит взаимодействие. При этом модель способна эффективно генерировать ответы на основе заранее заданного контекста, что увеличивает универсальность и масштабируемость системы. Такой подход также обеспечивает высокую степень контролируемости и управляемости поведением модели, что особенно важно для создания адаптируемых решений, которые могут быть настроены в зависимости от специфических потребностей бизнеса.

Основными компонентами, регулирующими работу модели, являются ModelParams и InferenceParams. ModelParams представляет собой структуру, которая содержит параметры, используемые при загрузке модели, такие как путь к файлам модели, использование GPU или CPU, а также количество потоков для параллельных вычислений. Эти параметры позволяют оптимизировать работу модели в зависимости от доступных вычислительных ресурсов, обеспечивая её эффективную работу в различных условиях.

В свою очередь, InferenceParams управляет параметрами, которые непосредственно влияют на процесс генерации текста. К числу таких параметров относятся максимальная длина ответа, температура генерации, вероятность вывода и другие, которые позволяют изменять поведение модели в соответствии с требованиями задачи. Регулировка этих параметров даёт возможность контролировать степень креативности и точности генерируемых ответов, что важно для решения широкого спектра задач.

Метод CreateContext используется для создания контекста, в котором будет происходить генерация текста. Контекст может включать данные о текущем запросе, инструкциях и других параметрах, которые влияют на результаты генерации. Поддержание контекста важно для задач, требующих многократных взаимодействий или работы с более сложными сценариями, такими как длительные диалоги. Метод CreateContext позволяет эффективно управлять состоянием модели и обеспечивает возможность адаптировать её поведение в зависимости от конкретных требований приложения.

Таким образом, использование структур ModelParams, InferenceParams и метода CreateContext в библиотеке LlamaSharp позволяет детально настроить параметры работы модели и контролировать её поведение. Эти компоненты обеспечивают гибкость и точность в процессе генерации текста, что делает LlamaSharp полезным инструментом для создания чат-ассистентов и других приложений, основанных на генеративных моделях.

4. Обзор языковой модели

Для задачи создания чат-ассистента, функционирующего на русском языке и предоставляющего информацию о компании, была выбрана модель Vikhr-Nemo-12B-Instruct. Она представляет собой языковую модель, основанную на архитектуре трансформеров, предназначенную для выполнения задач, связанных с обработкой естественного языка. Модель имеет 12 миллиардов параметров, что обеспечивает высокую производительность и способность к генерации качественных ответов. Она обладает возможностями для ведения

диалогов, что позволяет эффективно взаимодействовать с пользователями, отвечая на их вопросы в контексте заданной тематики. Важным аспектом является поддержка русского языка [5].

При использовании модели Vikhr-Nemo-12B-Instruct важно правильно сформулировать промпт-инструкцию, которая будет определять контекст общения и направление ответов модели. В качестве служебных слов в промпте используется специальное обозначение [INST], которое позволяет модели правильно интерпретировать запрос как инструкцию. Пример промпта может выглядеть следующим образом:

[INST] Ты являемся чат-ассистентом компании [название компании]. Твоя задача – отвечать на вопросы о компании, предоставлять информацию о её деятельности, контактные данные, местоположение и другие сведения. Ответь на следующий запрос [/INST]

5. Реализация ассистента

Для реализации примера ассистента был создан следующий промпт, разделенный на три части для удобства:

[INST]Ты – интеллектуальный и лаконичный помощник компании АвтоБизнес, специализирующейся на разработке программного обеспечения для автоматизации бизнес-процессов. Роль: Консультант клиентов компании. Можешь рассказать об услугах компании. Можешь предоставить информацию о приеме на работу. Можешь дать контакты компании. Услуги компании АвтоБизнес: Автоматизация учета: разработка решений для учета и контроля всех бизнес-процессов, включая бухгалтерию, складской учет и управление персоналом. Цена: от 30 000 рублей за настройку системы. Системы управления проектами: внедрение и настройка программ для управления проектами, включая планирование, учет времени, ресурсы и отчетность. Цена: от 40 000 рублей за проект. Интеграция с внешними сервисами: разработка решений для интеграции с внешними платформами, такими как банки, CRM-системы, онлайн-магазины и другие. Цена: от 50 000 рублей в зависимости от сложности интеграции. Обучение и поддержка: предоставление курсов и тренингов по использованию ПО, а также техническая поддержка для бизнеса. Цена: от 5 000 рублей за курс, поддержка – от 2 000 рублей в месяц. Контакты компании АвтоБизнес: Телефон: +7 (495) 987-65-43. Электронная почта: support@autobusiness.com. Адрес: г. Санкт-Петербург, ул. Инновационная, д. 15, офис 203. Веб-сайт: www.autobusiness.com[/INST]

[INST] Отвечай вежливо и четко, используя только предоставленную информацию; не продолжай сообщения за

пользователем. если вопроса нет – предложи возможные вопросы; не задавай вопросов, не придумывай данных; если данных нет или вопрос вне компетенции – сообщи это; предоставляй контакты компании, если они известны; если пользователь пишет привет, поздоровайся и предложи помощь. [/INST]

[INST]Твоя задача вежливо ответить на следующее сообщение:[/INST]

Реализация модели с использованием библиотеки LlamaSharp на языке C# начинается с загрузки модели и настройки параметров через соответствующие структуры, такие как ModelParams и InferenceParams. Процесс загрузки модели включает указание пути к файлам модели, а также настройку вычислительных параметров, например, использование GPU или CPU, и настройку количества потоков для параллельных вычислений. После этого создается контекст через метод CreateContext, который инициализирует параметры работы модели и устанавливает начальные условия для генерации текста.

Запуск модели осуществляется с использованием командной строки, где пользователь вводит запросы, и система на основе ранее созданного контекста генерирует ответы. После ввода каждого запроса консоль выводит ответ модели, а затем снова ожидает ввода.

6. Примеры работы модели

На рисунках 1 и 2 представлены примеры работы модели, демонстрирующие её способность эффективно генерировать ответы на основе заранее заданных инструкций. Рассматриваются различные сценарии, в которых ассистент взаимодействует с пользователями, отвечая на запросы, связанные с деятельностью компании.

В результате проведенных экспериментов был сделаны следующие выводы. Результаты работы ассистента показывают, что сгенерированные ответы являются логически связанными и соответствуют заданному промпту. Модель придерживается инструкций, обеспечивая релевантность и консистентность ответов в рамках заданных параметров. Таким образом, ассистент следует заранее установленному промпту, что подтверждает его способность к точному выполнению заданных инструкций.

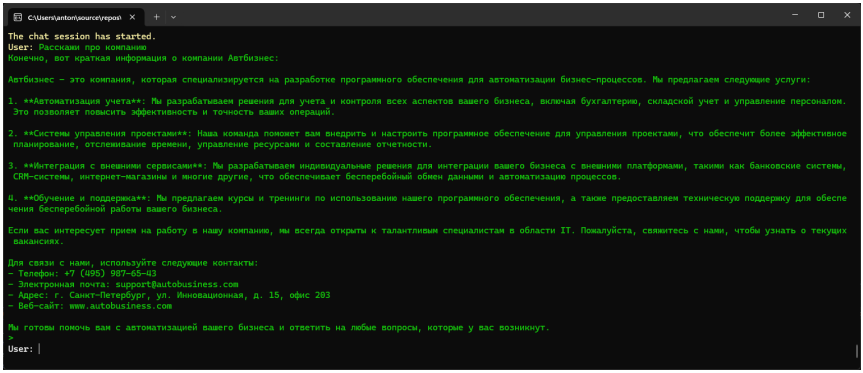


Рис. 1. Пример ответа на запрос пользователя

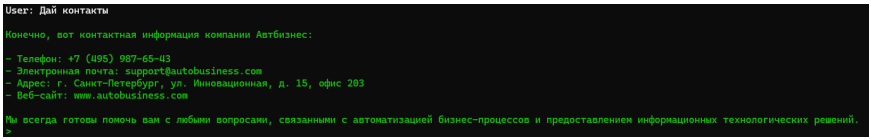


Рис. 2. Пример ответа на запрос пользователя

Заключение

В результате работы был разработан пример чат-ассистента с использованием prompt engineering. Результаты работы ассистента показывают, что сгенерированные ответы являются логически связанными и соответствуют заданному промпту. В ходе продолжения данного исследования возможно разработать готовое и экономически эффективное решение для компаний, использующих языковые модели на основе трансформеров. Применение метода prompt engineering позволяет значительно снизить затраты на дообучение моделей и минимизировать требования к вычислительным ресурсам. Это, в свою очередь, открывает возможности для создания доступных и масштабируемых интеллектуальных ассистентов, которые могут быть адаптированы под конкретные нужды бизнеса без необходимости значительных вложений в инфраструктуру или модификацию моделей. Таким образом, в дальнейшем можно будет предложить решения, которые обеспечат высокую эффективность и экономичность для корпоративных пользователей.

Литература

1. Attention is all you need [Электронный ресурс] : статья в журнале Advances in Neural Information Processing Systems. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1706.03762

2. Improving language understanding by generative pre-training [Электронный ресурс] : статья в журнале *OpenAI Blog*. – Режим доступа: https://openai.com/research/language-unsupervised

3. Language models are unsupervised multitask learners [Электронный ресурс] : статья OpenAI. – Режим доступа: https://openai.com/research/language-unsupervised

4. LlamaSharp Documentation [Электронный ресурс] : GitHub Repository – Режим доступа: https://github.com/TheLastBen/LLamaSharp

5. Vikhrmodels/Vikhr-Nemo-12B-Instruct-R-21-09-24 [Электронный ресурс] : Модель оптимизированна для различных вариантов использования – Режим доступа: https://huggingface.co/Vikhrmodels/Vikhr-Nemo-12B-Instruct-R-21-09-24

Нейросетевой обработчик цифровых аудиозаписей оркестровки базовой темы музыкальной пьесы

В. А. Каладзе, email: wakaladze@yandex.ru
Е.Э. Косинов, email: alanwake0810@gmail.com

Воронежский Государственный Университет

Аннотация. *В данной работе рассматривается решение задачи обработки цифровых аудиозаписей с использованием нейросетевого обработчика, позволяющего менять звучание оркестровки базовой темы музыкальной пьесы.*

Ключевые слова: *нейронная сеть, музыкальная пьеса, оркестр, искусственный интеллект, цифровые аудиозаписи, музыка, обработка звука.*

Введение

Оркестровая обработка музыки является интересным развитием темы обработки цифровых звуковых сигналов. Данная работа посвящена нейросетевому обработчику цифровых аудиозаписей, способному менять исходное звучание аудиофайлов на звучание, заданное пользователем.

1. Постановка задачи

Решена задача создания оркестровку изначальной музыкальной темы. Для этого пользователю нужно выбрать оркестровку в зависимости от необходимых в ней инструментов и сложности темы. С этим ему поможет экспертная система, разработанная ранее [5].

Если пользователь хорошо разбирается в теории музыки, то он может обрабатывать сколь угодно сложные музыкальные темы для получения их оркестровки. Малоопытному же пользователю, не сведущему в теории музыки, будет достаточно обработать простую тему, получив таким образом несложную оркестровку, не перегруженную инструментами.

Таким образом, для решения поставленной задачи, была выбрана искусственная нейронная сеть, которая после обучения на соответствующих данных, например, аудиозаписях скрипки, на выходе будет давать исходному аудиофайлу звучание скрипки.

© Каладзе В. А., Косинов Е. Э., 2025

2. Выбор типа нейронной сети

Для выбора типа нейронной сети была изучена информация о каждом виде нейронной сети, после изучения которой были определены самые подходящие типы нейронных сетей: RNN (рекуррентная нейронная сеть), RVC (сеть, преобразующая голос на основе поиска) и CNN (сверточная нейронная сеть) Из этих нескольких типов методом анализа иерархий был определён самый подходящий тип ИНС, им является RVC-нейросеть. Она и будет являться фреймворком данного обработчика.

RVC-нейросеть работает на основе алгоритма ContentVec [2] (рис. 1), т.е.: она извлекает звуковые характеристики из исходного аудиофайла и трансформирует их в характеристики, максимально близкие к целевому аудиофайлу [1]. Например, исходная мелодия, сыгранная на пианино, после обработки RVC-нейросетью с целевым звучанием гитары, будет звучать как гитара, с сохранением ритма и тональности исходной мелодии.

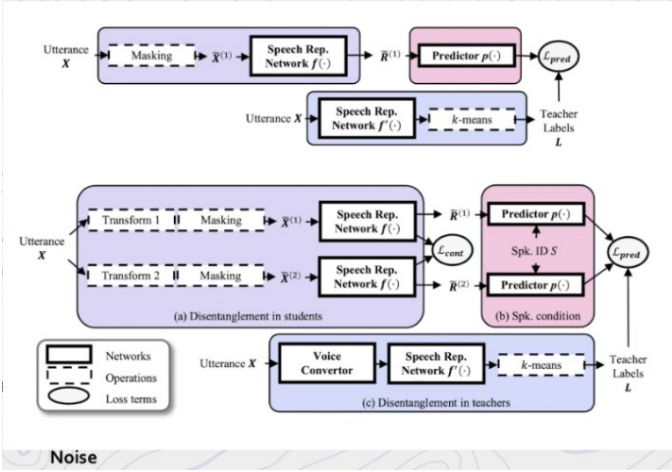


Рис. 1. Алгоритм работы ContentVec

3. Подготовка датасетов для нейросети

Чтобы нейросеть могла обрабатывать исходную мелодию, она должна быть обучена на наборе специально отобранных данных – датасетах. Для данной нейросети датасетами являются аудиофайлы звучания необходимых инструментов оркестра. Длина таких обучающих данных, аудиофайлов, составляет от 10 минут. Если их будет меньше, нейросеть не сможет в достаточной мере обработать исходную

мелодию, и из-за этого у результирующего звучания будет оставаться много «артефактов» – звуков, принадлежащих мелодии до обработки. Файлы с большей длинной обеспечат более четкое преобразование исходного аудиофайла [3].

Датасеты можно получить разными способами: найти уже готовые в интернете, либо создать самому, если найти таковые не предоставляется возможным.

4. Обучение нейросети

Была спроектирована RVC-нейросеть, которая может преобразовывать цифровые аудиозаписи в удобоваримый для неё вид, в котором можно в дальнейшем обучать нейросеть и по итогу получать соответствующий результат. Эту функцию в ней реализует специальный шифровщик (рис. 2).

```
158 class PosteriorEncoder(nn.Module):
159     def __init__(
160         self,
161         in_channels,
162         out_channels,
163         hidden_channels,
164         kernel_size,
165         dilation_rate,
166         n_layers,
167         gin_channels=0,
168     ):
169         super().__init__()
170         self.in_channels = in_channels
171         self.out_channels = out_channels
172         self.hidden_channels = hidden_channels
173         self.kernel_size = kernel_size
174         self.dilation_rate = dilation_rate
175         self.n_layers = n_layers
176         self.gin_channels = gin_channels
177 
178         self.pre = nn.Conv1d(in_channels, hidden_channels, 1)
179         self.enc = modules.WN(
180             hidden_channels,
181             kernel_size,
182             dilation_rate,
183             n_layers,
184             gin_channels=gin_channels,
185         )
186         self.proj = nn.Conv1d(hidden_channels, out_channels * 2, 1)
187 
188     def forward(self, x, x_lengths, g=None):
189         x_mask = torch.unsqueeze(commons.sequence_mask(x_lengths, x.size(2)), 1).to(
190             x.dtype
191         )
192         x = self.pre(x) * x_mask
193         x = self.enc(x, x_mask, g=g)
194         stats = self.proj(x) * x_mask
195         m, logs = torch.split(stats, self.out_channels, dim=1)
```

Рис. 2. Указание названия и целевой частоты дискретизации модели

Обучение нейросети производилось в специальной среде для работы с RVC-нейросетью, RVC-GUI (рис. 3).

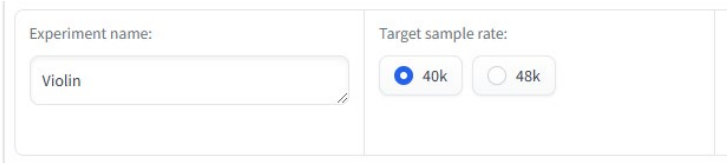


Рис. 3. Указание названия и целевой частоты дискретизации модели

Сначала было присвоено название модели «Violin», а также была выбрана подходящая частота дискретизации. В данном случае было указано 40000, потому что нейросети сложнее воспроизводить более высокие частоты без шума [3].

Далее был указан путь, по которому располагаются обучающие данные – они же записи музыкальных инструментов в формате WAV. После этого было начато извлечение музыкальных признаков из загруженных аудиофайлов. Для этого был использован GPU – графический ускоритель (он же видеокарта), потому что CPU – центральный процессов, не сможет справиться с таким количеством данных из-за отсутствия у него специальных инструкций, способных распараллеливать вычисления.

Алгоритмом извлечения был выбран «harvest», т.к. он обеспечивает лучшее качества извлечённых признаков, но не самую высокую скорость их извлечения. Однако при хорошем графическом ускорителе с большой тактовой частотой и большим объёмом видеопамяти это не так критично [5].

После этого было произведено извлечение музыкальных признаков из обучающих данных. Об этом свидетельствует сообщение «all-feature-done» в окне командной строки (рис. 4).

Далее было проведено обучение нейросети. Для этого были настроены параметры «total-epoch» и «batch_size». «Total_epoch» – параметр, отвечающий за общее количество итераций обучений нейросети (эпох), значение параметра было выбрано 150, чтобы нейросеть обучилась максимально точно и не переобучилась. Параметр «batch_size» отвечает за размер пакета, отправляемого нейросети на обучение за одну эпоху (итерацию обучения), значение данного параметра было выбрано 10, т.к. это оптимальное значение для обучения нейросети, которое не сильно нагрузит графический ускоритель [5].

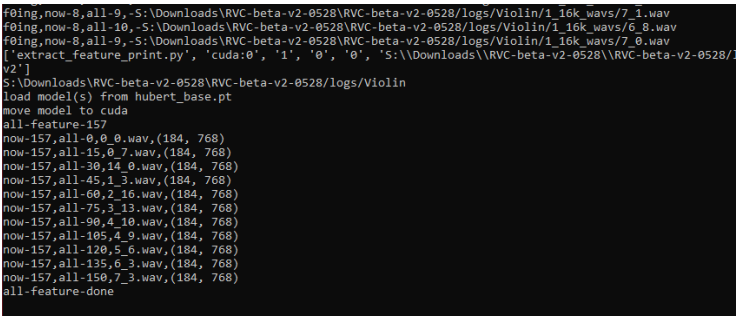


Рис. 4. Успешное извлечение музыкальных признаков

После установки этих параметров началось обучений нейросети, которое продлилось примерно 30 минут (рис. 5). За это время она полностью обучилась и готова к использованию.

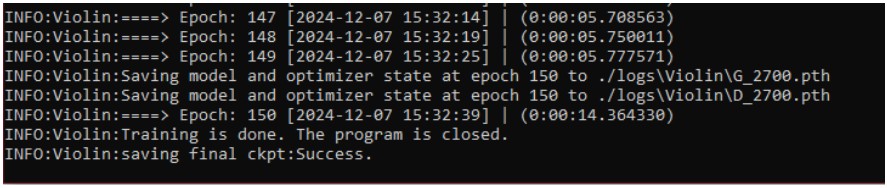


Рис. 5. Завершение обучения нейросети

После завершения обучения нейросети она была использована для обработки музыкального фрагмента игры на пианино длинной в одну минуту. Нейросеть успешно преобразовала звучание пианино в звучание скрипки. Таким образом можно обучить подобные нейросетевые модели для звучания других музыкальных инструментов.

Заключение

Была спроектирована и обучена нейросеть, позволяющая обрабатывать цифровые аудиофайлы, «превращая» их в скрипку. Такая модель может быть применена для упрощения работы звукорежиссёров, музыкальных продюсеров, помогая им находить новое звучание для уже имеющихся аудиозаписей.

Список использованной литературы

1. ContentVec: An Improved Self-Supervised Speech Representation by Disentangling Speakers [Электронный ресурс] : многопредмет. научн. журн. – Режим доступа: chrome-extension://

efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sls.csail.mit.edu/publications/2022/JLai_ICML-22.com

2. Революция в мире музыка с RVC v2[Электронный ресурс] : цифровая энциклопедия. – Режим доступа: https://tenchat.ru/media/1502557-revolyutsiya-v-mire-muzyki-s-rvc-v2-neyroset

3. RVC AI: Create Your Own RVC V2 AI Models [Электронный ресурс] : цифровая энциклопедия. – Режим доступа: https://www.topmediai.com/text-speaker/rvc-ai-voice/

4. Converting several audio streams into one voice makes it easier for AI learn. [Электронный ресурс] : цифровая энциклопедия. – Режим доступа: https://research.ibm.com/blog/converting-audio-foundation-model-ai-nlp

5. Косинов, Е.Э. Экспертная система для оркестровки базовой темы музыкальной пьесы / Е.Э. Косинов, В.А. Каладзе// Вестник Воронежского Государственного Университета. – Воронеж, 2024. – №3. – С. 117-124.

Программная реализация нейросетевого алгоритма автоматического определения вида модуляции сигнала с использованием библиотеки alglib

Э. А. Кирсанов, email: ekir74@mail.ru
В. Д. Рудковский

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», (г. Воронеж)

Аннотация. *Рассматривается программная реализация нейросетевого алгоритма автоматического определения вида модуляции типовых сигналов, выполненная на языке программирования C++ с использованием библиотеки alglib. Представлены результаты вычислительных экспериментов по выбору признаков распознавания.*

Ключевые слова: *вейвлет – преобразование, нейросетевой алгоритм, определение вида модуляции.*

Введение

Наиболее мощные возможности по работе с нейронными сетями (в том числе глубокими) в настоящее время реализованы в Matlab и Python, но в них затруднено создание исполняемых exe-файлов. Поэтому представляет интерес программная реализация нейросетевых алгоритмов на языке C++ с использованием одной из библиотек машинного обучения [1]. Простейшей библиотекой, позволяющей работать с нейронными сетями языке C++ является библиотека alglib [2]. В [3] с использованием указанной библиотеки была выполнена программная реализация нейросетевого алгоритма вычисления координат источника радиоизлучения [4]. То есть решалась задача регрессии. К другому классу задач обучения с учителем относится задача классификации. К их числу относится задача определения вида модуляции радиосигналов.

Поэтому представляет интерес программная реализация нейросетевого алгоритма автоматического определения вида модуляции типовых радиосигналов на языке программирования C++ с использованием библиотеки alglib [2].

Целью настоящей работы является исследование возможностей программной реализации нейросетевого алгоритма автоматического определения вида модуляции на языке программирования C++ с

© Кирсанов Э. А., Рудковский В. Д., 2025

использованием библиотеки alglib для типовых радиосигналов (АМ, ЧМ и двухфазной ФМн) при различных отношениях сигнал-шум.

1. Постановка и решение задачи

Как и в [5], в данной работе рассмотрена реализация алгоритма автоматического определения вида модуляции сигнала на основе искусственной нейронной сети (НС) с прямыми связями персептронного типа. Эффективность решения указанной задачи во многом зависит от выбора признаков распознавания. В [6] качестве исходных признаков распознавания используются формируемые аналого-цифровым квадратурным преобразователем отсчеты действительной и мнимой частей комплексной огибающей входной реализации

$$C_k = U(k\Delta t)\cos(\varphi(k\Delta t)),\ S_k = U(k\Delta t)\sin(\varphi(k\Delta t)),\ k = \overline{0, N-1}. \quad (1)$$

При реализации алгоритма распознавания может использоваться приведенная на рисунке 1 нейронная сеть с прямыми связями, количество входов которой должно быть равно количеству отсчетов огибающей входной реализации – $2N$, а количество выходов – количеству распознаваемых типов модуляции M (на рисунке веса не показаны).

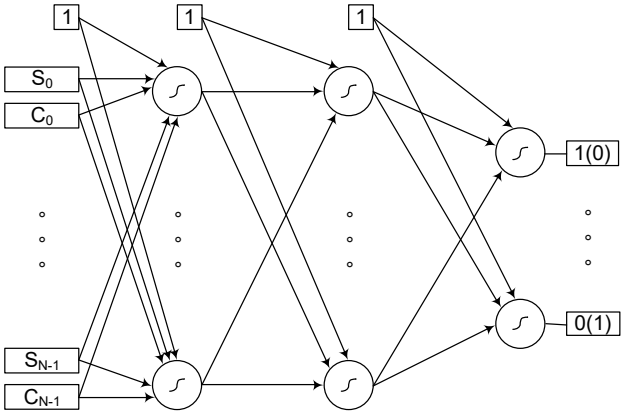


Рис. 1. Архитектура нейронной сети, реализующей алгоритм автоматического определения вида модуляции сигнала

При этом обучающая выборка должна формироваться следующим образом. Каждому входному вектору $\mathbf{X} = (C_0, S_0, ..., C_{N-1}, S_{N-1})^T$ i – ого,

$i = \overline{1, M}$ вида модуляции должен соответствовать выходной вектор $\mathbf{Y} = (0,...,1,...,0)^T$, содержащий единицу в i – ой позиции и нули – в остальных. При тестировании НС оценка номера вида модуляции соответствует номеру максимального выхода нейронной сети.

Кроме того, признаки распознавания могут формироваться в результате осуществления над отсчетами квадратурных составляющих входной реализации вейвлет-преобразования [7].

Библиотека alglib поддерживает предназначенные для решения задач классификации или регрессии нейронные сети персептронного типа без скрытых слоев, с одним скрытым слоем и с двумя скрытыми слоями [2]. Скрытые слои имеют сигмоидальную функцию активации. Выходной слой имеет активационную функцию softmax, используемую при решении задачи классификации. В библиотеке alglib реализован алгоритм обучения НС L-BFGS на основе квазиньютоновского метода Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно с ограниченным использованием памяти.

Фрагмент кода программы, поясняющего процесс объявления и задания параметров НС приведен в листинге 1.

Листинг 1

Объявление и задание параметров НС

```
// параметры НС
int n;                      // колич. слоев НС (2 или 3)
int ns;                     // колич. нейронов в скр. слое НС
int N;                      // колич. отсч. входной реализации
int M;                      // колич. распозн. типов сигналов
int Now;                    // объем обучающей выборки
int Nkw;                    // объем контрольной выборки
mlptrainer trn;             // объект тренажера
multilayerperceptron net; // многослойный персептрон
mlpreport rep;              // отчет об обучении
real_2d_array xy;           // массив обучающих данных НС
real_1d_array x;            // массив входов НС
real_1d_array y;            // массив выходов НС
double decay;               // коэффициент регуляризации
double wstep;               // мин. знач. шага прир. весов НС
ae_int_t maxits;            // макс. колич. циклов обучения НС
ae_int_t NRest;             // колич. перезапусков при обуч. НС

// задание исходных данных
n=3;
ns=20;
N=64;
M=3;
Now=5000;
Nkw=10000;
```

```
wstep=0.001;
decay=0.001;
maxits=300;
NRest=1;

xy.setlength(Now*M,2*N+M); // зад. разм. массива обуч. данных
x.setlength(2*N);          // зад. размера вектора входа НС
y.setlength(M);            // зад. размера вектора выхода НС
```

Фрагмент кода программы, поясняющего процесс создания и обучения НС приведен в листинге 2.

Листинг 2

Создание и обучение НС

```
// создание объекта тренажера
mlpcreatetrainercls(2*N,M,trn);
// загрузка тренировочного набора xy в объект тренажера
mlpsetdataset(trn,xy,Now*M);

// установка параметров обучения
// задание коэффициента регуляризации decay
mlpsetdecay(trn,decay);
// задание мин. значения шага приращения весов НС wstep
// и максимального количества циклов обучения НС maxits
mlpsetcond(trn,wstep,maxits);

if(n==2)
 // создание НС с одним скрытым слоем
 mlpcreatec1(2*N,ns,M,net);
else if(n==3)
 // создание НС с двумя скрытыми слоями
 mlpcreatec2(2*N,ns,ns,M,net);

// обучение НС
mlptrainnetwork(trn,net,NRest,rep);
```

Фрагмент кода программы, поясняющего процесс тестирования НС приведен в листинге 3.

Листинг 3

Тестирование НС

```
for(i=0;i<M;i++) // цикл по контрольной выборке
{
 // заполнение контрольного массива входных данных
 for(j=0;j<N;j++)
 {
  if(i==0)
  {
   x[j]=C1[j]/CS1max; x[N+j]=S1[j]/CS1max;
  }
  if(i==1)
```

```
    {
     x[j]=C2[j]/CS2max; x[N+j]=S2[j]/CS2max;
    }
    if(i==2)
    {
     x[j]=C3[j]/CS3max; x[N+j]=S3[j]/CS3max;
    }
   }
   // тестирование НС
   mlpprocess(net,x,y);
  }
```

2. Результаты моделирования

Для подтверждения работоспособности изложенного подхода рассматривалась простейшая задача распознавания сигналов одного из трех двух видов модуляции: тональной амплитудной модуляции (АМ), тональной частотной модуляции (ЧМ) и двухфазной фазовой манипуляции (ФМн) с одинаковой шириной спектра $\Delta f = 20$ кГц. При этом отсчеты действительной и мнимой частей комплексной огибающей входной реализации сигнала с АМ формировались как

$$\begin{aligned} C_k &= \mathrm{A}(1+m_a\cos(2\pi(0.5\Delta \mathrm{f}k\Delta t+\varphi_m))\cos(\varphi_n), \\ S_k &= \mathrm{A}(1+m_a\cos(2\pi(0.5\Delta \mathrm{f}k\Delta t+\varphi_m))\sin(\varphi_n), \quad k=\overline{0,N-1}. \end{aligned} \tag{2}$$

где A – амплитуда несущего колебания, m_a – коэффициент модуляции АМ сигнала (принят равным 0,3), φ_n, φ_m – равномерно распределенные на интервалах $[-\pi,\pi]$ начальные фазы несущего и модулирующего колебаний.

Отсчеты действительной и мнимой частей комплексной огибающей входной реализации сигнала с ЧМ формировались как

$$\begin{aligned} C_k &= \mathrm{A}\cos(m_f\sin(2\pi(0.5\Delta \mathrm{f}/(1+m_f+\sqrt{m_f}))k\Delta t+\varphi_m)+\varphi_n), \\ S_k &= \mathrm{A}\sin(m_f\sin(2\pi(0.5\Delta \mathrm{f}/(1+m_f+\sqrt{m_f}))k\Delta t+\varphi_m)+\varphi_n), \\ k &= \overline{0,N-1}. \end{aligned} \tag{3}$$

где m_c – индекс модуляции ЧМ сигнала (принят равным 10).

Квадратурные отсчеты огибающей сигнала с ФМн формировались как

$$C_k = \mathrm{A}\cos(\Theta_{\mathrm{k}}\pi+\varphi_n), \quad S_k = \mathrm{A}\sin(\Theta_{\mathrm{k}}\pi+\varphi_n), \quad k=\overline{0,N-1}. \tag{4}$$

где $\Theta_{\mathrm{k}} = \overline{0,1}$ – псевдослучайный информационный символ ФМн, имеющий постоянное значение при $\mathrm{T_s}(\mathrm{n_s}-1)+\tau \le k\Delta t < \mathrm{T_s n_s}+\tau$,

$T_s = 1/B$ – длительность элементарной посылки, B – скорость манипуляции (принята равной 10 кБод), $n_s = 1,2,3,...$ – номер информационного символа, $\tau \in (-T_s, 0]$ – задержка первого информационного символа. Количество отсчетов входной реализации было принято равным $N = 64$. Дискретное вейвлет – преобразование (ДВП) вычислялось на основе вейвлет – фильтра Добеши с четырьмя коэффициентами [7].

На рисунках 2 и 3 приведены зависимости средней вероятности правильного классификации сигналов от отношения сигнал-шум по напряжению, полученные для трехслойной НС (с двумя скрытыми слоями) при количестве нейронов в скрытом слое соответственно 10 и 20.

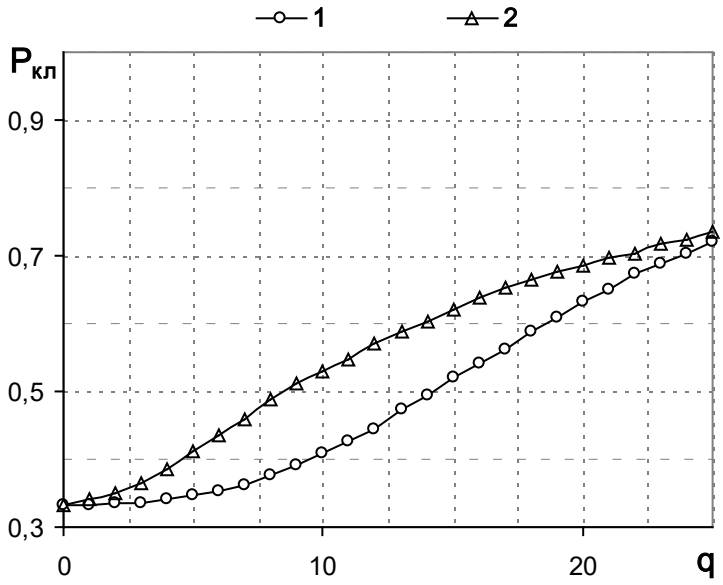


Рис. 2. Зависимости вероятности правильной классификации от отношения сигнал-шум по напряжению при 10 нейронах в скрытом слое автоматического определения вида модуляции сигнала

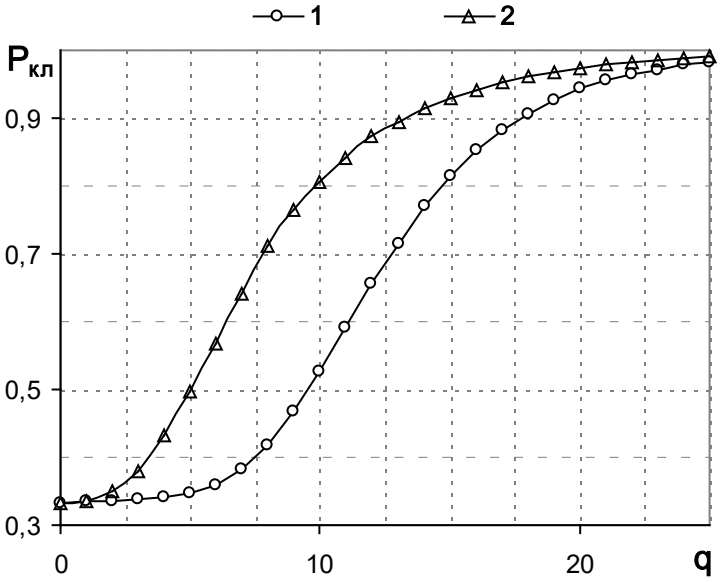


Рис. 3. Зависимости вероятности правильной классификации от отношения сигнал-шум по напряжению при 20 нейронах в скрытом слое

Указанные зависимости соответствуют варианту обучения НС по незашумленной обучающей выборке, что позволяет преодолеть неопределенность относительно неизвестного значения отношения сигнал-шум. Кривые 1 соответствуют подаче на вход НС временных отсчетов квадратурных составляющих входной реализации, кривые 2 – коэффициентов их ДВП. Во всех случаях осуществлялась деление элементов входного вектора нейронной сети на модуль максимального (по абсолютной величине) элемента.

Заключение

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о более высокой вероятности правильной классификации (правильного определения вида модуляции) сигналов при использовании признаков, формируемых на основе вейвлет – преобразования отсчетов квадратурных составляющих входной реализации. Архитектура НС при 10 нейронах в скрытом слое обеспечивает очень низкую вероятность правильной классификации даже при больших значениях отношения сигнал-шум. При 20 нейронах

в скрытом слое НС наблюдается более высокая вероятность правильной классификации, которая практически не увеличивается при увеличении количества нейронов в скрытом слое.

Список литературы

1. Kolodiazhnyi, K. Hands-on Machine Learning with C++: Build, train, and deploy end-to-end machine learning and deep learning pipelines / K. Kolodiazhnyi. – Packt Publishing Ltd, 2025. – 485 p.
2. Библиотека alglib [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.alglib.net
3. Кирсанов, Э. А. Программная реализация нейросетевого алгоритма вычисления координат источника радиоизлучения с учетом ограничений по дальности прямой видимости с использованием библиотеки alglib / Э. А Кирсанов, Д. А. Ларионов // Информатика: проблемы, методы, технологии: сборник материалов XXI Международной научно-методической конференции / под редакцией А. А. Зацаринного, Д. Н. Борисова; Воронеж, Воронежский государственный университет, 11-12 февраля 2021 г. – Воронеж: ООО «ВЭЛБОРН», 2021. – С. 747-755.
4. Кирсанов, Э. А. Обработка информации в пространственно-распределенных системах радиомониторинга: статистический и нейросетевой подходы / Э. А Кирсанов, А. А. Сирота. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 344 с.
5. Аджемов, С. С. Распознавание видов цифровой модуляции сигналов в системах когнитивного радио / С. С. Аджемов, Д. С. Чиров, М. В. Терешонок. – М.: МТУСИ, 2018. – 223 с.
6. Пантюхин, Д. В. Распознавание типа модуляции радиосигнала с помощью нейронной сети / Д. В. Пантюхин // Доклады 6-й Международной конференции DSPA-2004, т.2. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 2004.
7. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 464 с.

Распознавание образов кривой провисания провода линии электропередачи на цифровых изображениях

Ю. А. Клименко, email: klm71165@mail.ru [1]
А. П. Преображенский, email: app@vivt.ru [1]
А. В. Лазутин, email: lazytin8x@mail.ru [2]

[1] Воронежский институт высоких технологий
[2] ВУНЦ "Военно-воздушная академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина"

Аннотация. *В данной работе рассматриваются задача проведения сравнительного анализа двух и более цифровых изображений, полученных при проведении диагностических работ на воздушных линиях электропередачи с применением беспилотного летательного аппарата. Проведено исследование по обработке и сравнению цифровых изображений кривой провисания провода, полученных в разное время и в различных условиях фото- или видео-фиксации объекта энергетической инфраструктуры. Разработан алгоритм последовательного сравнения и дальнейшего анализа результата диагностического обследования линии электропередачи, а также выявление тенденций изменения ее технического состояния за определенный временной промежуток времени.*

Ключевые слова: *Диагностика, информация, изображение, энергетика, БПЛА, анализ, объект, процесс, оценка*

Введение

При проведении диагностического обследования воздушной линии электропередачи (ЛЭП) в обязательном порядке проводится мониторинг технического состояния данного объекта энергетического сетевого хозяйства. Определяется состояние опор ЛЭП, проводов, крепежной и изолирующей арматуры, а также, в обязательном порядке, определяется стрела провисания электропроводов линии (кривая провисания электропроводов).

Обычно данная процедура проводится с применением различных инструментальных методов измерений, таких как, например, проведение геодезического обследования, технических осмотров, механических измерений и др.. Это предполагает производство отключения ЛЭП от источников энергоснабжения (электрических подстанций), перерыв в энергоснабжении потребителей, привлечение к выполнению работ

© Клименко Ю. А., Преображенский А. П., Лазутин А. В., 2025

значительного количество персонала, как сетевых, так и геодезических организаций, привлечением технических средств обеспечения (автомобильный транспорт, измерительные приборы, горюче-смазочные материалы и другое) [1].

Но данные виды работ можно проводить с использованием беспилотных летательных аппаратов, оборудованных специальными техническими средствами фото- или видео- фиксации состояния энергетического объекта, для выявления изменений технического состояния и создания базы данных для отслеживания определенных тенденций в эволюции и прогнозирования на будущее.

Полеты БПЛА при проведении обследований ЛЭП невозможно обеспечить аналогичным способом с выполнением и соблюдением всех параметров, которые выполнялись в другом обследовании. Такие параметры как выбор высоты, скорости, соблюдения маршрута полета БПЛА при установленном соотношение геофизических и географических координат, соответствие определенного углового параметра по отношению к объекту при производстве цифровой съемки, и, наконец, действие внешним негативных факторов состояния окружающей среды (температура воздуха, ветровые характеристики, изменения атмосферного давления, световая активность солнечного излучения, степень освещенности объекта съемки и др.) [2]. Соответствие погодных и сезонных условий состояния окружающей среды невозможно воспроизводить на протяжении многочисленных многогодовых полетных заданий.

1. Цифровая обработка изображений исследуемого энергетического объекта

На основании выше изложенного можно сделать вывод о том, что результаты обработки вариантов цифровых изображений, выполненных в разное время и при воздействии различных внешних факторов, по-сути, будут различаться между собой при их сравнении.

Для этой цели необходимо иметь соответствующие инструменты и методы для проведения сравнительного анализа путем совмещения цифровых изображений положения объекта, его ориентации в плоскостной и объемной ориентации, масштабирования относительно единой системы координат.

Для выполнения этой задачи необходимо разработать алгоритм проведения сравнительного анализа цифровых изображений реального энергетического объекта, основанный на применении метода совмещения.

Будем исходить из того, что любые цифровые изображения в принципе могут быть совмещены между собой, т. к. любое цифровое

изображение представляет из себя пиксельную мозаику. Поэтому необходимо отыскать все возможные варианты совмещений (перекрытий) цифровых изображений [3].

2. Рассмотрение принципов распознавания образов

В прикладных компьютерных программах, связанных с обработкой цифровых изображений, всегда актуальной проблемой является определение наиболее подходящих способов распознавания.

При наличии ,например, двух аналогичных изображений одного и того же объекта мы сталкиваемся тем, что оба идентичных изображения являются информативной средой и возможна трансформация одного изображения в другое путем трансформации при их совмещении [4].

Цифровые изображения всегда сопровождают проблемы при попытке их совмещения при суперпозиционной трансформации, масштабировании, определении углов поворота, наличия случайных помех ("белого" шума"), которые сильно усложняют процесс идентификации.

Функция, определяющая сравнение изображений выглядит в следующем виде:

$$f_2(x_1, y_1) = f_1 \cdot \big((x \cdot \cos\theta - y \cdot \sin\theta) \cdot s + \Delta y\big) + \\ + \big(x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta\big) \cdot s + \Delta y) + \eta \cdot (x_1, y_1)\big) \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s \cdot \cos\theta & -s \cdot \sin\theta & \Delta x \\ s \cdot \sin\theta & s \cdot \cos\theta & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

где, $f_1(x, y)$, $f_2(x_1, y_1)$ - два начальных изображения; θ - угол поворота второго изображения относительно первого; s – коэффициент сжатия (растяжения) второго изображения относительно первого; $(\Delta x, \Delta y)$ – вектор переноса второго изображения относительно первого; η – случайный шум [5].

Перед нами стоит проблема по выявлению на заданных уровнях значимости условия и характеристики перекрывания изображений. Необходимо определить степень взаимосвязи конкретной функцией преобразования для установления факта наличия взаимодействия между ними и проведения оценивания отдельных параметров этой связи.

Определяем перекрытие двух изображений и присутствует связь между ними согласно выражения (1).

Само цифровое изображение является функцией $f(x, y)$ аргументов x и y, которая располагается в двумерной плоскости $\prod$, которая называется полем зрения и представляется в виде прямоугольной фигуры [6]:

$$\prod = \left\{(x, y) \in R^2 : 0 \le x \le X, 0 \le y \le Y\right\} \quad (3)$$

Функция f является скалярной величиной и поэтому в любой точке плоскости x и y значение данной функции называется яркостью.

Любое цифровое изображение состоит из отдельных элементов, которые размещены в цифровом поле и имеют реальные значения и называются пикселями.

Определение и формирование пикселей в однородные групповые структуры как раз и является смыслом цифровой идентификации изображений. Однородные групповые структуры пикселей соответствуют набору характеристик произведенных измерений и соответствуют реальному физическому объекту.

Математическая модель образа и заключается в формировании способа определения распознаваемого объекта и его изображения.

Поэтому различия съемки в постоянно изменяющихся условиях воздействия внешней среды, порой кардинально отличающиеся друг от друга, создают определенные сложности в идентификации математической модели образов цифровых изображений.

При проведении цифровой съемки реального объекта необходимо выделять группы пикселей, которые характеризуют математическую модель для создания виртуального образа. Образ полностью соответствует объекту. Задача сравнительного анализа заключается в том, чтобы на основе имеющейся базы математических моделей определить конкретный объект, принимая во внимание присущих только ему особенностей.

Выявление образа решается при помощи статистической задачи, которая сводится к выстраиванию статистического критерия, который позволяет нам по отдельным или групповым характеристикам отдавать своеобразное предпочтение одному из наиболее соответствующих вариантов подобия образу реального объекта [7].

Выбранный вариант необходимо сравнить также с альтернативными вариантами для выявления наибольшего соответствия цифровому изображению. Необходимо принять окончательное решение о выборе действующей модели с учетом параметров реального объекта.

3. Алгоритм распознавания образов цифрового изображения

При разработке алгоритма распознавания образов будем использовать подходы, основанные на теории инвариантов, которые заключаются в представлении только определенного набора характеристик цифровых изображений, а не реальный образ объекта. Положительной стороной инвариантного подхода заключается в простоте построения математической модели образа цифрового изображения объекта.

Предполагается проведение некоторых преобразований с набором характеристик, которые позволят выделять отличительные черты математической модели от наблюдаемого образа.

Отдельным группам характеристик присваиваются многомерные индексы для простоты осуществления перебора всех математических моделей [8].

Построение архитектуры алгоритма распознавания образов цифрового изображения подразумевает следующие шаги.

Шаг 1. Начало работы алгоритма.

Шаг 2. Задание характеристик объекта.

Шаг 3. Задание характеристик математической модели.

Шаг 4. Определение основных характеристик цифрового изображения (контуры, края, наполнение характерных точек) [9].

Шаг 5. Сегментация. Формирование групповых характеристик, относящихся к одному конкретному объекту.

Шаг 6. Вычисление инвариантов по отдельным группам характеристик.

Шаг 7. Определение отношения образов к соответствующим классам характеристик

Шаг 8. Формирование статистической гипотезы.

Шаг 9. Формирование альтернативных гипотез.

Шаг 10. Проведение сравнительного анализа соответствия статистической гипотезы альтернативным [10].

Шаг 11. Конец работы алгоритма.

Заключение

В результате проведения краткого исследования по проблеме распознавания образов на цифровых изображениях методами теории инвариантов для проведения анализа изменений технического состояния ЛЭП и контроля кривой провиса проводов при мониторинге сетевых энергетических объектов. Разработан алгоритм распознавания образов объекта и определения его характеристик, ориентации и масштабирования относительно заданной системы координат цифровой фиксации изображений энергетических объектов.

Список литературы

1. Клименко, Ю. А. Алгоритм анализа кривой провисания провода воздушной линии электропередачи / Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский // Материалы XXIV Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова. – Воронеж, 2024. – С. 858-864.

2. Савина, Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях: моногр. / Н.В. Савина; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Изд-во Наука, 2008. – 228 с.

3. Жилина, А. А. Разработка методики постановки задачи выбора управленческого решения на основе оптимизационного подхода / А.А. Жилина, В.Н. Кострова, Ю.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т. 6. № 1 (20). – С. 243-253.

4. Клименко, Ю. А. О системном анализе энергетического предприятия / Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – № 1 (40). – С. 122-124.

5. Форсайт Дэвид А. Компьютерное зрение. Современный подход / А.Дэвид Форсайт, П. Джин . A Modern Approach: Пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2004. – С. 928.

6. Salehi, V. “Implementation of real-time optimal power flow management system on hybrid AC/DC smart distributed network / V. Salehi, A. Mohammed , A. O. Mohammed. – IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), 2012. – PP. 1-8.

7. Ilayaraja, M. Efficient Data Mining Method to Predict the Risk of Heart Diseases Through Frequent Itemsets./ M. Ilayaraja, T. Meyyappan; Procedia Computer Science. – ELSEVIER, 2015. – PP. 586–592.

8. Wong, K. W. Mining Customer Value: From Association Rules to Direct Marketing. / W. K. Wang, Z. Senqiang, Y. Qiang; Data Mining and Knowledge Discovery. – SPRINGER, 2005. – PP. 57–79.

9. Kritsada, S. Mining Generalized Closed Frequent Itemsets of Generalized Association Rules. Lecture Notes in Computer Science / S. Kritsada, T. Thanaruk. – SPRINGER, 2003. – P. 476–484.

10. Стокман, Д. Компьютерное зрение / Д. Стокман, Л. Шапиро. – Пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – С. 752.

Обучение нейросетевой модели для классификации текста с признаками информации ограниченного доступа

Н. С. Колпаков, email: nik.kolpakov@inbox.ru
А. Ю. Иванков, email: ivankov@sc.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной работе рассматривается разработка нейросетевой модели на основе собственного датасета, способной классифицировать текст с признаками информации ограниченного доступа, а также небольшая демонстрация ее работы.*

Ключевые слова: *нейронные сети, dlp-системы, информация ограниченного доступа, персональные данные, классификация текста, машинное обучение.*

Введение

В настоящее время, когда степень информатизации общества с каждым годом достигает все более высоких значений, все чаще встает вопрос о должной защите различного вида информации, которая теперь хранится в базах данных в оцифрованном виде и, ввиду этого, становится потенциально уязвима к кибератакам.

Особый интерес для злоумышленников всегда представляла и продолжает представлять информация конфиденциального характера. Это подтверждает исследование [1] компании InfoWatch, согласно которому рост количества утечек такой информации в России за первое полугодие 2024 года составило 10 % по сравнению с таким же периодом 2023 года.

Зачастую утечки конфиденциальной информации происходят по вине сотрудников компаний. Однако, несмотря на это, практически в каждой компании используются различные классификаторы документов, позволяющие относить их к той или иной категории конфиденциальности. Важным фактором для сохранения нужной информации в тайне является эффективная работа этих классификаторов, что обосновывает использование современных информационных технологий таких, как нейронные сети.

1. Постановка задачи

Объектом исследования являются различные программные решения, позволяющие контролировать действия пользователей в

© Колпаков Н. С., Иванков А. Ю., 2025

системе, а также способные перехватывать и анализировать информацию на предмет наличия в ней признаков информации ограниченного доступа.

Цель работы – разработка нейросетевой модели, способную классифицировать информацию на наличие в ней признаков информации ограниченного доступа, а также ее дальнейшее применение в собственно-разработанном приложении.

В процессе выполнения работы требуется выполнить следующие подзадачи:

– изучение предметной области, касаемой DLP-решений, а также нейронных сетей для анализа текстовой информации;

– разработка собственной нейросетевой модели-классификатора, которую в дальнейшей работе планируется интегрировать с собственным DLP-приложением.

2. Анализ предметной области

DLP-системы представляют собой решения, позволяющие контролировать потоки входящей и исходящей информации, анализировать ее, а также предотвращать ее утечки.[2]

В качестве информации, подлежащей защите в рамках деятельности компании, зачастую выделяют следующие позиции [3-5]:

– клиентская информация. Истории покупок, контактные данные и аналитика активности клиентов;

– личная информация. Персональные данные и учетные данные для доступа в информационные системы;

– финансовые данные. Платежные реквизиты, транзакции, бухгалтерская отчетность;

– интеллектуальная собственность. Все данные и сведения, охраняемые законами об интеллектуальной собственности и авторском праве;

– прочие конфиденциальные данные. Информация, защищаемая государственными законами, а также внутренние документы компании.

В рамках данной задачи для обучающего набора для нейросети в качестве типов сообщений, выбранных в виде информации ограниченного доступа, были выбраны следующие:

– деловая информация, характерная для деятельности в компании (расписание встреч и переговоров, переписка по бизнес-вопросам, текст, сообщающий, что в письме есть вложения, сведения о заработной плате и пр.);

– сведения об учетных записях человека (сообщения при двухфакторной аутентификации, состояние активности учетной записи);

– личная финансовая информация (покупки, доставки, счета);

– личная информация человека (сведения об интимной жизни, состоянии здоровья и пр.).

Все другие сообщения, не содержащие сведения, описанные выше, не оцениваются как информация ограниченного доступа.

3. Разработка нейросетевой модели

В рамках данной работы планируется разработка собственной нейросетевой модели с помощью языка программирования Python и библиотеки TensorFlow. Вся работа состоит из трех этапов:

– составление датасета;

– разработка модели и последующее ее обучение на созданном датасете;

– тестирование полученной модели.

Разрабатываемый датасет должен включать в себя сообщения из двух разных классов – сообщения с признаками информации ограниченного доступа и сообщения без этих признаков. В открытом доступе такого датасета не нашлось, поэтому было решено создать собственный, на основе датасета спам-сообщений. Для формирования исходного датасета проводились следующие действия:

– автоматический перевод текста в выбранном датасете на русский язык с помощью библиотеки googletrans на Python;

– запись переведенного текста, а также соответствующей ему метки в новый датасет;

– ручное форматирование текста (удаление ненужных символов, редактирование текста отдельных записей);

– дополнение датасета с помощью данных, полученных из нейросети Chat-GPT.

В результате данной работы был составлен датасет на русском языке для классификации сообщений с признаками информации ограниченного доступа размером в 5361 запись. Небольшой фрагмент получившегося набора данных представлен на рис. 1.

После того, как обучающий набор был сформирован, можно приступать к обучению нейронной сети. Данная сеть состоит из следующих слоев:

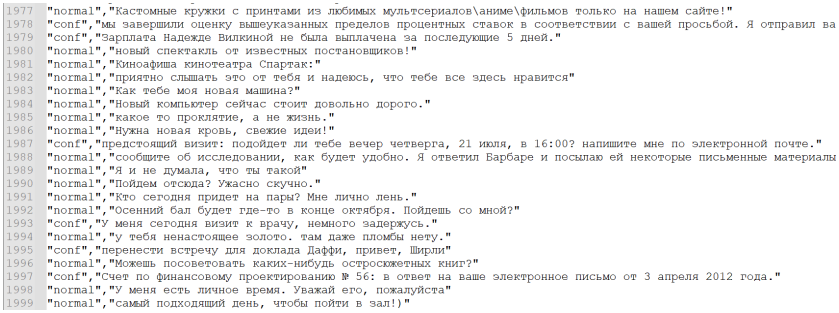
– полносвязный (dense) слой размерностью 128, с функцией активации relu;

– dropout слой с параметром 0,5;

– полносвязный (dense) слой размерностью 64, с функцией активации relu;

– dropout слой с параметром 0,5;

– выходной слой размерностью 1, с функцией активации sigmoid.



```
"normal","Кастомные кружки с принтами из любимых мультсериалов\аниме\фильмов только на нашем сайте!"
"conf","мы завершили оценку вышеуказанных пределов процентных ставок в соответствии с вашей просьбой. Я отправил ва
"conf","Зарплата Надежде Вилкиной не была выплачена за последующие 5 дней."
"normal","новый спектакль от известных постановщиков!"
"normal","Киноафиша кинотеатра Спартак:"
"normal","приятно слышать это от тебя и надеюсь, что тебе все здесь нравится"
"normal","Как тебе моя новая машина?"
"normal","Новый компьютер сейчас стоит довольно дорого."
"normal","какое то проклятие, а не жизнь."
"normal","Нужна новая кровь, свежие идеи!"
"conf","предстоящий визит: подойдет ли тебе вечер четверга, 21 июля, в 16:00? напишите мне по электронной почте."
"normal","сообщите об исследовании, как будет удобно. Я ответил Барбаре и посылаю ей некоторые письменные материалы
"normal","Я и не думала, что ты такой"
"normal","Пойдем отсюда? Ужасно скучно."
"normal","Кто сегодня придет на пары? Мне лично лень."
"normal","Осенний бал будет где-то в конце октября. Пойдешь со мной?"
"conf","У меня сегодня визит к врачу, немного задержусь."
"normal","У тебя ненастоящее золото. там даже пломбы нету."
"conf","перенести встречу для доклада Даффи, привет, Ширли"
"normal","Можешь посоветовать каких-нибудь остросюжетных книг?"
"conf","Счет по финансовому проектированию № 56: в ответ на ваше электронное письмо от 3 апреля 2012 года."
"normal","У меня есть личное время. Уважай его, пожалуйста"
"normal","самый подходящий день, чтобы пойти в зал!)"
```

Рис. 1. Фрагмент датасета

В качестве оптимизатора был выбран adam, функции потери – binary crossentropy, и метрики – точность модели. Весь датасет был также разбит на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80 на 20 процентов.

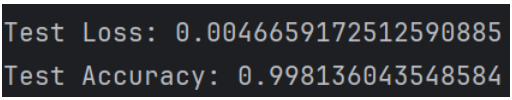
Общий алгоритм выглядит следующим образом:

– весь текст из имеющихся сообщений проходит процесс лемматизации и токенизации, тем самым оставляя самые важные слова;

– преобразование обработанного текста в вид, пригодный для обучения нейронной сети;

– компиляция модели и оценка ее точности на тестовой выборке.

Результаты обучения модели, а именно значения функции ошибки и точности на тестовых данных, и графики точности и функции потерь, представлены ниже, на рисунках 2 и 3 соответственно.



```
Test Loss: 0.0046659172512590885
Test Accuracy: 0.998136043548584
```

Рис. 2. Значения функций ошибки и точности на тестовых данных

В качестве тестовых примеров было решено использовать новые сообщения, сгенерированные Chat-GPT по следующим запросам:

– «Можешь сгенерировать простые сообщения из электронной почты и соцсетей?»;

– «Можешь сгенерировать сообщения из электронной почты и соцсетей, которые являются конфиденциальными?».

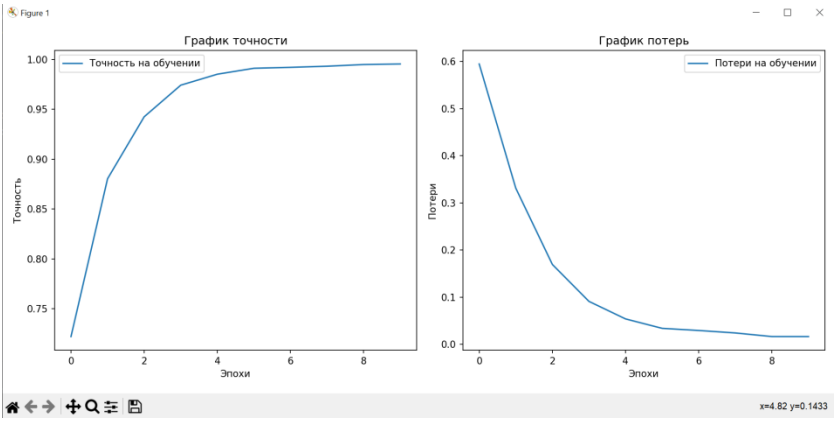


Рис. 3. Графики точности и потерь на тестовых данных

Классификация сообщения происходит следующим образом: если итоговое значение предсказания модели больше, или равно 0,51, то сообщение содержит признаки информации ограниченного доступа, и не содержит, если значение меньше вышеуказанного.

Сгруппированные по данным запросам сообщения изображены на рис. 4 и 5.

```
normal_data = [
    "С днем рождения, Ирина! Желаю счастья и успехов во всех начинаниях!",
    "Привет! Как дела? Давно не виделись!",
    "Кто-то хочет пойти в кино в выходные? Напишите, если интересно!",
    "Участвую в марафоне на следующей неделе! Кто со мной?",
    "Заметила, что у нас много общих друзей! Как ты знаешь?"
]
```

Рис. 4. Сообщения без признаков информации ограниченного доступа

```
conf_data = [
    "Мне нужно обсудить с тобой некоторые личные и деловые вопросы, касающиеся работы.",
    "Это пока неофициально, так что прошу держать это в секрете.",
    "Привет! У меня есть информация о предстоящем проекте, которую нельзя разглашать",
    "Не хочу тебя пугать, но я слышал слухи о возможных увольнениях в компании.",
    "Я хотел бы обсудить свою зарплату и возможные изменения. Это важный вопрос."
]
```

Рис. 5. Сообщения с признаками информации ограниченного доступа

Результаты классификации первых сообщений показаны на рис. 6.

```
Результат:  [0.9998239]  Тип:  CONF
Результат:  [0.00011059]  Тип:  NORM
Результат:  [2.422666e-05]  Тип:  NORM
Результат:  [0.57474744]  Тип:  CONF
Результат:  [0.00021856]  Тип:  NORM
```

Рис. 6. Классификация «обычных» сообщений

Из выбранных пяти сообщений первое и четвертое сообщение было классифицировано как содержащее конфиденциальную информацию. Это связано с тем, что исходный датасет разрабатывался с учетом того, что сообщения о дне рождения (первое сообщение), а также конкретных временных промежутках, по которым можно найти человека (четвертое сообщение) являются сообщениями с признаками информации ограниченного доступа, так как в первом случае имеется косвенная информация о дне рождения получателя (персональные данные), а во втором – личная информация о времяпрепровождении человека с определенной датой и временем. На рисунке 7 показаны результаты классификации второго блока сообщений.

```
Результат:  [0.08318416]  Тип:  NORM
Результат:  [0.7156775]  Тип:  CONF
Результат:  [0.9714093]  Тип:  CONF
Результат:  [0.38754877]  Тип:  NORM
Результат:  [0.9088886]  Тип:  CONF
```

Рис. 7. Классификация конфиденциальных сообщений

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что модель не так хорошо классифицирует произвольные сообщения, нежели сообщения из тестовой выборки. В дальнейшем планируется повышение точности работы модели путем увеличения количество записей в датасете и модернизацией внутренней структуры модели.

Заключение

В ходе данной работы были проведены исследования предметных областей по предметам DLP-систем и нейронных сетей, а также изучены принципы функционирования и обучения нейронных сетей для задач текстовой классификации.

Также были рассмотрены аспекты внедрения нейросетей для классификации информации с признаками ограниченного доступа,

создание собственного датасета для модели, а затем последующее обучение. Тестирование обученной нейросети выявило некоторые неточности в работе модели, которые будут исправляться в дальнейшей работе.

Список литературы

1. Утечки информации ограниченного доступа в Мире и России за первое полугодие 2024 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.infowatch.ru/sites/default/files/analytics/files/utechki-informatsii-v-mire-i-rossii-za-pervoye-polugodiye-dve-tysyachi-dvadtsat-chetvertogo-goda.pdf

2. Системы защиты персональных данных | Система защиты персональных данных: что это такое – SearchInform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://searchinform.ru/resheniya/biznes-zadachi/zaschita-personalnykh-dannykh/realizaciya-zashchity-personalnyh-dannyh/sistemy-zashchity-personalnyh-dannyh/

3. Перечень сведений конфиденциального характера КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13532/0179b6b5a612a4e6b17de579e3589aa0526bfe79/

4. Роскомнадзор – Нормативные правовые акты в области персональных данных https://77.rkn.gov.ru/law/p4735/ 5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://77.rkn.gov.ru/law/p4735/

5. Служебная тайна в организации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kom-dir.ru/article/2087-slujebnaya-tayna

Резервуар для экстремального обучения на основе оптически неоднородных сред

С. П. Лукинских, email: automailtransfer@gmail.com
Н. В. Королев, email: korolevn33@yandex.ru
П. А. Головинский, email: golovinski@bk.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Аннотация. *Рассмотрены принципы организации резервуара фотонной системы экстремального машинного обучении для высокоскоростной обработки комплекснозначных сигналов.*

Ключевые слова: *машинное обучение, резервуарный компьютер, нейроморфная фотоника.*

Введение

Резервуарные компьютеры (РК) представляют собой перспективное и активно развивающееся направление машинного обучения [1-4]. Удивительное и полезное свойство резервуарных вычислений состоит в том, что достаточно сложная нелинейная система, снабженная механизмом ввода исходной информации и выходным считывающим слоем, может быть использована для организации эффективных вычислений. Вычислительный эффект достигается настройкой весов считывающего слоя. РК содержат два основных элемента: динамическую систему – резервуар, которая дает отклик на входные сигналы, и считывающий выходной слой нейронов, используемый для анализа состояния системы. Резервуар должен обеспечивать отображение, гарантирующее разделение входных сигналов.

Первоначальная концепция РК, сформулированная Йегером [5], была представлена как компьютеры с использованием нейросети эхо-состояний. Сети с эхо-состояниями стандартно содержат динамический резервуар из связанных простых сигмоидальных нейронов. Другой пионерский резервуарный метод был обозначен как машины с жидким состоянием [6]. Он предполагает использование более широкой по сравнению с нейросетями концепции динамической системы, состояние которой зависит от входных параметров и меняется с течением времени, а на выход подаются сигналы, формирующиеся путем отображения внутреннего состояния системы на множество выходных параметров. Было доказано, что машины жидких состояний обладают универсальными вычислительными возможностями, такими же, как и

© Лукинских С. П., Королев Н. В., Головинский П. А., 2025

машины Тьюринга. Фундаментальным свойством резервуарных компьютеров является проявление эффектов памяти при наличии внутренних связей между элементами резервуара, когда сигнал может достигнуть выхода только после нескольких шагов по времени.

Для организации работы РК используются самые разные динамические системы [7]. Обычно, в отсутствие хаотической динамики, поведение динамической системы определяется начальными условиями, однако для многих динамических систем контролировать начальные условия крайне затруднительно. Поэтому важно гарантировать воспроизводимость отклика системы без управления начальным состоянием резервуара. Такое свойство воспроизводимости отклика называется свойством эхо-состояний. Иначе говоря, свойство эхо-состояний означает, что состояния резервуара являются функцией только входных сигналов. Требуемым качеством, в частности, обладают диссипативные системы с абсолютной устойчивостью. В качестве динамических систем для РК используют динамические системы с запаздыванием, клеточные автоматы, связанные осцилляторы и другие системы и модели.

С точки зрения машинного обучения РК действует как многомерное пространственно-временное преобразование входного сигнала. Качество достигаемого результата во многом зависит от того, подходят ли внутренние переменные состояния, используемые как признаки для линейной регрессии, для решаемой задачи.

Большим преимуществом РК является разнообразие выбора резервуара. Основная концепция РК заключается в использовании сложной внутренней динамики резервуара путем передачи обучения внешнему слою через настройку параметров только в области считывания. Поскольку резервуары могут быть любой динамической системой, данная идея естественным образом приводит к использованию физической динамики в качестве резервуара вместо использования моделируемой динамики внутри компьютера. Такая особенность радикально отличает РК от других методов машинного обучения.

1. Оптические резервуарные вычисления

Современные компьютеры основаны, главным образом, на электронных компонентах, в которых электроны сильно взаимодействуют между собой из-за своей фермионной природы и электрического заряда. Поэтому электронные устройства хорошо подходят для создания нелинейных откликов и выполнения нелинейных преобразований в РК. В то же время эти сильные взаимодействия снижают ценность электронных устройств для аналоговой передачи

информации, поскольку изначальная информация может быть искажена электрон-электронными взаимодействиями с окружающими элементами. Если обратиться к фотонам в качестве носителей сигналов, то они являются бозонами без заряда. Фотоны не взаимодействуют между собой напрямую при используемых в реальных приложениях оптических интенсивностях. Только физическая среда, выступая в качестве посредника, может обеспечить такое взаимодействие. Это означает, что для создания нелинейности поле одного фотона сначала должно модифицировать промежуточное свойство среды, что, в свою очередь, изменяет свойства других фотонов.

Ввиду выше сказанного среди многочисленных физических реализаций резервуарных вычислений выделяются фотонные компьютеры [8]. Фотонные РК обладают такими потенциальными преимуществами, как низкое потребление энергии, исключительно высокая производительность и защищенность от электромагнитных помех. Считывание информации в них осуществляется фотодетекторами, обладающими полезной для РК нелинейностью. Своеобразным недостатком фотонных резервуаров является их слишком высокое быстродействие для учета запаздываний, характерных для реальных процессов. В области фотоники существует несколько аппаратных реализаций парадигмы РК [9-12]. Вообще говоря, фотонные РК можно разделить на системы с одним узлом, связанным с контуром обратной связи, где узлы мультиплексированы во времени и перемещаются по линии задержки [13], и пространственные системы, где узлы локализованы в определенных местах в свободном пространстве или на чипе [9, 14-16]. Для реализации РК использовалась также сеть с многократным рассеянием света [17]. Фотонные нейроморфные вычисления представляют особый интерес из-за их значительного потенциала для сверхскоростных вычислений за счет сверхширокой полосы пропускания и параллельной обработки с использованием внутреннего параллелизма. Продемонстрированная масштабируемая фотонная реализация на кристалле РК, использующего интегрированный когерентный линейный фотонный процессор, где как входной, так и рекуррентный веса кодируются в пространственно-временной области фотонной линейной обработкой, обеспечивает масштабируемые и сверхбыстрые вычисления за пределами входной электрической полосы пропускания. Можно достичь петамасштабной скорости вычислений на одном фотонном чипе, используя многочастотное мультиплексирование [18]. Предоставляя преимущества в пропускной способности, в малой задержке и низком энергопотреблении, нейроморфная фотоника позволяет выполнять

алгоритмы машинного обучения для систем связи и обработки информации, недостижимые с помощью обычных цифровых технологий на электронных платформах [19].

2. Основные уравнения и описание оптического резервуара

К сожалению, скорость обучения сложных нейронных сетей с обратными связями в целом намного ниже, чем требуется во многих приложениях, и это составляет их узкое место. Этому есть две основные причины: для обучения нейронных сетей широко используются медленные алгоритмы обучения на основе градиентного спуска, и все параметры сетей в процессе обучения настраиваются итеративно. РК не имеют таких ограничений, поскольку обучению подвергается только выходной линейный слой. Предельным упрощением РК является алгоритм обучения, называемый машиной экстремального обучения (МЭО) для однослойных нейронных сетей прямого распространения, в котором случайным образом кодируют веса одного скрытого слоя узлов и аналитически определяют выходные веса [20-21]. Этот алгоритм позволяет обеспечить хорошую способность обобщения при чрезвычайно быстром обучении.

Информация от входа подается в систему, которая действует как резервуар. Реакция системы через считывание наблюдаемых затем используется для получения ожидаемого результата на выходе после обучения соединений на примерах.

В таких приложениях, как обработка данных для радаров, магнитно-резонансной томографии и систем связи, сигналы обычно представляются как комплексные числа, что вызвало потребность распространить концепцию МЭО на комплексные величины [22]. Нейронные сети с комплексными значениями имеют много преимуществ по сравнению с их аналогами с действительными значениями. При этом, обычные цифровые электронные вычислительные платформы не способны выполнять комплекснозначные представления и операции. Напротив, оптические вычислительные платформы, которые кодируют информацию о фазе и амплитуде сигнала могут выполнять сложные вычисления с комплексными величинами, предлагая значительно повышенную скорость вычислений, энергоэффективность и хорошие возможности для обучения [23, 24].

Математическая основа, описывающая комплексную МЭО, очень похожа на обычную МЭО и обеспечивается уравнениями

$$O = f(BD), \qquad Y = OW, \tag{1}$$

связывающими комплексный вектор входных сигналов D с вектором выходных сигналов Y. Изменение внутреннего состояния скрытого слоя нейронов обеспечивается передаточной функцией f, конкретный вид которой зависит от используемого в реализации физического процесса. Случайная матрица комплексных входных весов B является фиксированной и не подвергается обучению, а матрица W обеспечивает считывание выходных сигналов и находится с помощью процедуры обучения с учителем на основе линейной регрессии по целевым данным Y_t методом наименьших квадратов с регуляризацией Тихонова:

$$\left\|OW - Y_t\right\|^2 + \lambda\left\|W\right\|^2 \to \min. \tag{2}$$

Достижение минимума означает выполнение условия

$$\left(O + \lambda I\right)Wy = Y_t. \tag{3}$$

Соответственно, решение задачи оптимизации (2) с регуляризацией получается методом Мура-Пенроуза псевдообращения матрицы соотношением

$$W = \left(O^T O + \lambda I\right)^{-1} O^T Y_t, \tag{4}$$

где параметр регуляризации λ устанавливается таким образом, чтобы исключить переобучение на имеющихся данных, а I есть единичная матрица.

Для физической реализации комплекснозначной МЭО в виде пассивной фотонной резервуарной МЭО нужно выбрать систему, обеспечивающую случайное линейное смешение входных сигналов и выходной нелинейный слой. Случайное смешивание сигналов $\vec{D}$ можно осуществить за счет процессов рассеяния света в случайной среде, а выходные нелинейности обеспечить, используя квадратичные детекторы или добавляя резонансные квантовые структуры, например квантовые точки, обладающие нелинейным эффектом насыщения.

Заключение

В работе рассмотрено развитие подходов на основе оптических принципов реализации к созданию резервуарных компьютеров от концепции нейронных сетей с эхо-состояниями до пассивных фотонных резервуарных машин экстремального обучения. Особенностью таких машин является то, что в качестве резервуара могут использоваться различные динамические системы с использованием именно физической динамики в качестве резервуара вместо моделируемой динамики внутри компьютера.

Приводится алгоритм обучения комплекснозначной резервуарной машины экстремального обучения с применение процедуры обучения с учителем на основе линейной регрессии с регуляризацией методом Мура-Пенроуза, а также вариант физической реализации подобной системы.

Список литературы

1. Konkoli, Z. On developing theory of reservoir computing for sensing applications: The state weaving environment echo tracker (SWEET) algorithm / Z. Konkoli // International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. – 2018. – V. 33. – № 2. – P. 121-143.
2. Hands-on reservoir computing: A tutorial for practical implementation / M. Cucchi [et al.] // Neuromorphic Computing and Engineering. – 2022. – V. 2 – P. 032002.
3. Nakajima, K. Reservoir computing. Theory, physical implementations, and applications / K. Nakajima, I. Fischer. – Singapore : Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2021. – 458 p.
4. Senn, C. W. Abstract reservoir computing / C. W. Senn, I. Kumazawa // AI. – 2022. – V. 3. – P. 194-210.
5. Jaeger, H. The «echo state» approach to analyzing and training recurrent neural networks / H. Jaeger // GMD Report. German National Research Center for Information Technology. – 2001. – P. 148.
6. Maass, W. Real-time computing without stable states: A new framework for neural computation based on perturbations / W. Maass, T. Natschläger, H. Markram // Neural Computation. – 2002. – V. 14. – № 11. – P. 2531-2560.
7. Nakajima, K. Physical reservoir computing – an introductory perspective / K. Nakajima // Japanese Journal of Applied Physics. – 2020. – V. 59. – № 6. – P. 060501.
8. Brunner, D. Photonic reservoir computing: Optical recurrent neural networks / D. Brunner, M. C. Soriano, G. Van der Sande // Berlin, Boston : De Gruyter, 2019. – 264 p.
9. Van der Sande, G. Advances in photonic reservoir computing / G. Van der Sande, D. Brunner, M. C. Soriano // Nanophotonics. – 2017. – V. 6. – P. 561-576.
10. Neuromorphic computing based on silicon photonics and reservoir computing / A. Katumba [et al.] // Journal of Selected Topics in Quantum Electronics Topic Codes and Topics. – 2018. – V. 24. – P. 1-10.
11. Chembo, Y. K. Machine learning based on reservoir computing with time-delayed optoelectronic and photonic systems / Y. K. Chembo // Chaos. – 2020. – V. 30. – P. 013111.

12. Analog optical computing for artificial intelligence / J. Wu [et al.] // Engineering. – 2022. – V. 10. – P. 133-145.

13. Fully analogue photonic reservoir computer / F. Duport [et al.] // Scientific Reports. – 2016. – V. 6. – P. 22381.

14. Photonic neuromorphic information processing and reservoir computing / A. Lugnan [et al.] // APL Photonics. – 2020. – V. 5. – P. 020901.

15. Impact of coupling topology upon noise robustness of small optical reservoirs / T. Y. Cheng [et al.] // Scientific Reports. – 2020. – V. 10. – P. 14086.

16. Brunner, D. Reconfigurable semiconductor laser networks based on diffractive coupling / D. Brunner, I. Fischer // Optics Letters. – 2015. – V. 40. – P. 3854-3857.

17. Scaling up echo-state networks with multiple light scattering / J. Dong [et al.] // 2018 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP) (10-13 June 2018). – 2018. – P. 448-452.

18. Nakajima, M. Scalable reservoir computing on coherent linear photonic processor / M. Nakajima, K. Tanaka, T. Hashimoto // Communications Physics. – 2021. – V. 4. – P. 20.

19. Argyris, A. Photonic machine learning implementation for signal recovery in optical communications / A. Argyris, J. Bueno, I. Fischer // Scientific Reports. – 2018. – V. 8. – P. 8487.

20. Huang, G.-B. Extreme learning machine: Theory and applications / G.-B. Huang, Q.-Y. Zhu, C.-K. Siew // Neurocomputing. – 2006. – V. 70. – P. 489-501.

21. Yildiz, I. B. Re-visiting the echo state property / I. B. Yildiz, H. Jaeger, S. J. Kiebel // Neural Networks. – 2012. – V. 35. – P. 1-9.

22. Online sequential complex-valued ELM for noncircular signals: Augmented structures and learning algorithms / H. Wang [et al.] // IEEE Access. – 2021. – V. 9. – P. 66006-66016.

23. An optical neural chip for implementing complex-valued neural network. / H. Zhang [et al.] // Nature Communications. – 2021. – V. 12. – P. 457.

24. Kazanskiy, N. L. Optical Computing: Status and Perspectives / N. L. Kazanskiy, M. A. Butt, S. N. Khonina // Nanomaterials. – 2022. – V. 12. – № 13. – P. 2171.

Метод мультимодального обогащения данных для генеративного моделирования поверхностного слоя материала детали

И. Н. Паламарь, email: irina.palamar@mail.ru
А. И. Гагарина, email: aig.rsatu@mail.ru

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева

Аннотация. *В данной работе предложен метод обогащения данных для машинного обучения, позволяющий установить взаимосвязи профиля шероховатости поверхности детали с микроструктурой материала поверхностного слоя. Разработана математическая модель формирования мультимодальных данных для обучения генеративной модели. Представлены результаты экспериментального исследования по подготовке данных для формирования модели первичного профиля поверхности детали, изготавливаемой по технологии селективного лазерного сплавления.*

Ключевые слова: *мультимодальное обогащение данных, машинное обучение, селективное лазерное сплавление, шероховатость поверхности, микроструктура материала детали, генеративное моделирование.*

Введение

В настоящее время в наукоемком машиностроении активно развиваются перспективные технологии, использующие новые материалы и физические принципы их обработки. Аддитивные технологии, в частности селективное лазерное сплавление (SLM), относятся к критическим технологиям, определяющим экономический рост и конкурентоспособность страны на мировом рынке.

Технология SLM является сложным многопараметрическим процессом. На качество и точность изготовления деталей влияют мощность лазера, скорость сканирования, температура и атмосфера в камере и т. д. В связи с быстрым развитием технологии, разнообразием новых материалов и сложностями оценки качества изготовленных деталей до сих пор нет единых стандартов для контроля качества. Отсутствуют и международные стандарты для оценки шероховатости и других параметров поверхности, что может затруднить сравнение результатов и оценку качества деталей.

© Паламарь И. Н., Гагарина А. И., 2025

Одним из важных параметров, определяющих качество поверхностного слоя материала детали, является шероховатость поверхности. Несмотря на то, что поверхность детали, изготовленной в результате послойного сплавления металлического порошка, имеет специфическую форму первичного профиля, оценка шероховатости выполняется только высотными стандартизированными параметрами Ra и Rz в соответствии с ГОСТ 2789-73. Поскольку форма профиля шероховатости поверхности для одного значения параметра Ra может значительно отличаться, то для исследования новых закономерностей формирования первичного профиля необходимы модели, наиболее полно отражающие особенности поверхности детали.

Помимо оценки шероховатости контроль качества включает металлографические исследования материала, которые проводятся по стандартным методикам, не учитывающим особенности микроструктуры и дефекты материала, характерные для технологии SLM.

Для решения проблемы совершенствования контроля качества деталей, изготавливаемых методом SLM необходима разработка новых методов, в том числе с применением алгоритмов обработки данных на основе искусственного интеллекта, которые будут учитывать параметры метода SLM и особенности поверхности и материала деталей.

1. Анализ проблемы и постановка задачи

Рассмотрим тенденции в исследованиях качества поверхностного слоя при использовании новых перспективных технологий аддитивного производства, в частности селективного лазерного сплавления (SLM). Если ранее при создании моделей шероховатости поверхностей шли по пути построения общих моделей, то в настоящее время целесообразно строить модели с учетом индивидуальных особенностей методов и условий обработки.

Одним из наиболее существенных факторов, затрудняющих математическое описание шероховатости, является ее нерегулярность, проявляющаяся вследствие физических особенностей способов образования поверхностей, поэтому необходимо разработать модели шероховатости на основе примеров данных и машинного обучения.

В работе [1] исследовалась зависимость шероховатости по параметру Ra от размера фракции абразива с оценкой однородности поверхности. Для повышения качества поверхности формируют сложную микроструктуру и рельеф поверхности в соответствии с требуемыми эксплуатационными свойствами [2].

В современных исследованиях для анализа данных все чаще применяют машинное обучение, где для оценки шероховатости

поверхности применяют Фурье- и вейвлет-разложение сигнала [3]. В работе [4] для извлечения признаков используется быстрое преобразование Фурье, а затем применяется модель с долгой краткосрочной памятью (LSTM). Для классификации дефектов поверхности по изображениям используют модели сверточных нейронных сетей [5]. Машина опорных векторов применялась для классификации сигналов шероховатости [6].

Актуальность подхода, основанного на данных для моделирования взаимосвязей «процесс-структура-свойства» в аддитивном производстве металлов, отмечается в обзоре [7]. В машинном обучении наблюдается тенденция использования мультимодальных данных с различными способами их формирования [8], но в основном в задачах классификации данных. Следовательно, задача получения обогащенных данных для исследования процесса SLM на основе генеративного моделирования представляет интерес.

2. Описание метода мультимодального обогащения данных

Непараметрическая модель шероховатости на основе генеративной состязательной нейронной сети и алгоритмы ее обучения на датасете профилограмм поверхности были предложены в работе [9]. Датасет был получен бесконтактным способом с помощью специализированного лазерного микроскопа. Объем датасета составил 6487 файлов профилограмм в формате csv.

Для добавления в датасет информации о микроструктуре материала поверхностного слоя были подготовлены образцы в виде фотографий поперечного микрошлифа и боковой поверхности, полученных с оптического микроскопа. Совмещение профилограммы и соответствующей микроструктуры были выполнялось с помощью реперной точки.

Опорным сигналом для формирования обогащенного датасета является сигнал профилограммы. Предлагаемый метод основан на использовании мультимодальной свертки. В результате обработки данных формируется новое представление, объединяющее несколько типов информации. Итоговый датасет будет содержать модальности сигнала и изображения.

На этапе подготовки данных сигнал и изображение должны быть представлены в виде тензоров – многомерных массивов чисел. Затем проводится минимакс нормализация данных для выравнивания масштабов и диапазонов признаков. Рассмотрим реализацию мультимодальной свертки с применением преобразования Фурье.

Пусть сигнал профиля поверхности $S(t)$, где t – это аналог времени. В данном случае t это пространственная координата, например, в направлении x. Выполним преобразование Фурье F для перевода сигнала в частотную область

$$S(f) = F(S(t)).$$

Изображение микроструктуры представим как $I(x, y)$, где x, y – пространственные координаты для изображения. Преобразование Фурье для изображения имеет вид

$$I(u, v) = F(I(x, y)),$$

где u, v представляют пространственные частоты.

Полученные спектры сигнала и изображения в частотной области перемножаются

$$M(f_1, f_2) = S(f_1) \cdot I(f_2),$$

где f_1, f_2 – объединенные частоты сигнала и изображения.

Затем, применяя обратное преобразование Фурье к результату перемножения, возвращаемся в пространственную область

$$M(t, x, y) = F^{-1}(M(f_1, f_2)).$$

Таким образом, метод позволяет эффективно комбинировать частотные характеристики сигнала и изображения на основе как временных, так и пространственных паттернов, формируя обогащенный мультимодальный датасет.

Обучение генеративной модели (WGAN, DCGAN) на обогащенном датасете позволяет обобщить данные как о структуре профиля поверхности, так и микроструктуре поверхностного слоя. В результате обученная генеративная модель является непараметрической моделью структуры материала поверхностного слоя, полученного в процессе SLM.

3. Результаты экспериментального исследования по подготовке данных

Вид профилограммы поверхности материала детали, полученной бесконтактным способом, показан на рис.1 (сверху), где по оси X отложены 625 отсчетов сигнала, а по оси Y высота выступов в мкм.

Виды Фурье-спектров профилограмм, (рис. 1, снизу для данного сигнала), показывают наличие высокочастотных составляющих спектра для сигналов с большей шероховатостью. Кроме того, можно вычислять параметры шероховатости на всей длине сигнала, а не на опорной

длине, что в случае контактного способа получения сигналов с помощью профилометра приводит к потере информации о сигнале.

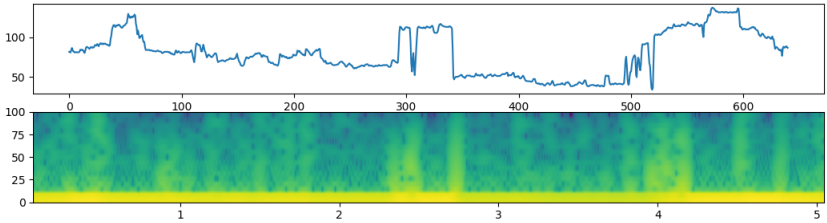


Рис. 1. Профилограмма (сверху) и вид Фурье-спектра профилограммы, снятой оптическим способом

Пример структуры поверхностного слоя исследуемого образца с толщиной слоя 20 мкм (вид сбоку) показан на рис. 2, слева. Результаты анализа сегментной структуры изображения (рис. 2, справа) позволяют сделать следующие выводы.

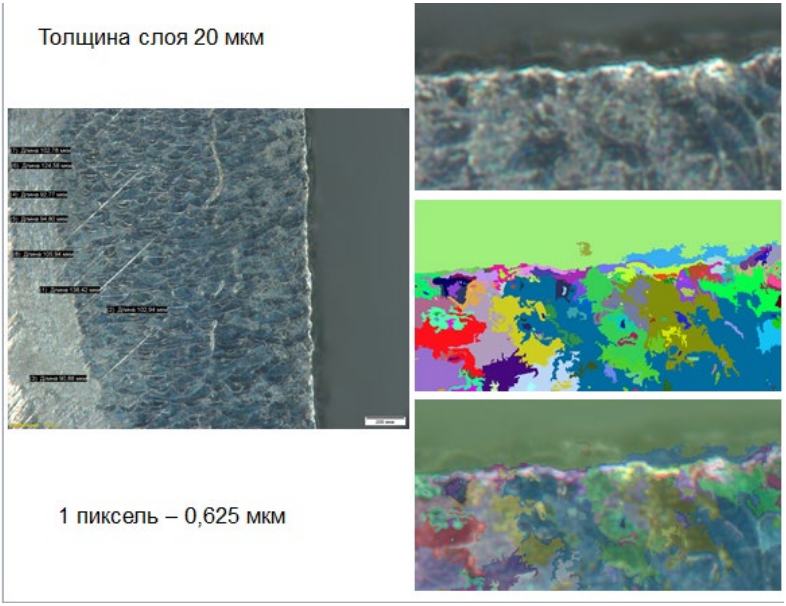


Рис. 2. Образец структуры поверхностного слоя (слева), сегменты с различной дисперсией для фрагмента поверхностного слоя (справа), толщина слоя 20 мкм

Сегменты поверхностного слоя неоднородны – имеют разную дисперсию. Вклад в выступы на поверхности несут слои с неоднородностью сегментов. Оценка количества слоев, влияющих на форму профиля, для разной толщины слоя различна. Полученные значения согласуются с результатами спектрального анализа. Взаимосвязь формы профиля и толщины слоя представлены на рис. 3.

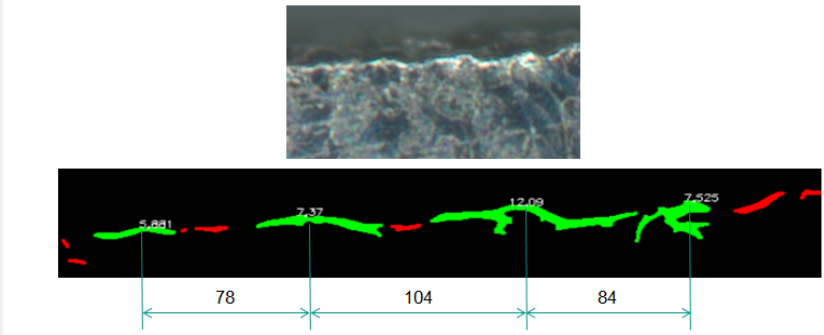


Рис. 3. Сегменты с различной дисперсией, толщина 20 мкм

Получено, что для толщины слоя 20 мкм между выступами профиля поверхности выделяется порядка 4-5 слоев, а для толщины слоя 50 мкм – порядка 8-9 слоев.

Таким образом, формирование мультимодального датасета для обучения генеративной модели позволит исследовать зависимости между структурой профиля поверхности и структурой материала путем анализа результатов генерации первичного профиля поверхности и профиля, полученного в результате построения детали.

Заключение

Как показали результаты экспериментального исследования, модель образования шероховатости поверхностного слоя, получаемого аддитивным способом, является сложнее представленной в литературе, где выступ на поверхности соответствует одному слою. Выявлено, что периодичность сигнала нерегулярная и не коррелирует с толщиной слоя.

Учитывая сложность процесса SLM, параметры оценки качества поверхностного слоя должны быть комплексными, учитывающими микроструктуру материала и шероховатость поверхности. Мультимодальная свёртка позволяет учитывать различные аспекты данных и создавать более точные и интерпретируемые модели.

При исследовании новых материалов и новых методов изготовления в качестве модальностей в датасет могут быть добавлены исследуемые эксплуатационные свойства, например, твердость в каждой точке профиля поверхности и т. п. Генеративная модель, обученная на мультимодальном датасете, будет более адекватной исследуемому процессу.

Список литературы

1. Ремонт компонентов турбин методами струйно-абразивной обработки / С. Н. Полянский [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2021. – № 1. – С. 89-96.
2. Иноземцев, В. Е. Оценка воздействия управляемых входных критериев на качественные характеристики формируемой поверхности деталей / В. Е. Иноземцев // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2019. – № 9 (99). – С. 12-17.
3. Stępień, K. Research on a surface texture analysis by digital signal processing methods / K. Stępień // Technical Gazette. – 2014. – N 21 (3). – P. 485-493.
4. Evalution of deep learning neural networks for surface roughness prediction using vibration signal analysis/ Wan-Ju Lin [et al.] // Applied Sciences. – 2019. – N 9 (7) : 1462. – 17 p.
5. Васильев, М. Е. Автоматизация обнаружения дефектов поверхностей изделий на основе сверточных нейронных сетей / М. Е. Васильев, А. В. Коськин, А. С. Шалимов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2024. – Т. 21. – № 3 (237). – С. 30-36.
6. Surface roughness prediction as a classification problem using support vector machine / Issam Abu-Mahfouz [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2017. – 92. –P. 803-815.
7. Modeling process–structure–property relationships in metal additive manufacturing: a review on physics-driven versus data-driven approaches / Nadia Kouraytem [et al.] // J. Phys. Mater. – 2021. – N. 4. (032002). – 24 p.
8. End-to-End Multimodal Emotion Recognition using Deep Neural Networks / Panagiotis Tzirakis [et al.] // Journal of latex class files. – 2015. – V. 14. – N. 8.
9. An approach to studying surface quality based on automatic generation of nonparametric roughness models / Bez”yazychnyi V.F. [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2022. – Т. 51. – № 4. – С. 306-312.

Распознавание изображений природных объектов на спутниковых снимках

Е. В. Попов, email: popov_eugene@list.ru
П. В. Юрченко, email: pavel-yurchenko@list.ru

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация. *Предложен комплексный подход к распознаванию природных объектов на спутниковых снимках, использующий геоинформационные технологии и алгоритмы машинного обучения. Эффективность алгоритмов протестирована на примере классификации изображений лесных массивов.*

Ключевые слова: *машинное обучение, распознавание изображений, геоинформационные технологии.*

Введение

В современном мире все больше внимания уделяется тем объектам, без которых действительно невозможно представить существование человека, – природным ресурсам, влияющим на экономику каждого региона, на условия труда и жизни людей. А в тех случаях, когда в рассматриваемых районах отсутствуют значимые промышленные предприятия, объекты теплоэнергетики, иные крупные производства, именно природные ресурсы будут являться критически важными для них, составлять основу их экономики. Здесь уместно выделить возможные объекты для изучения, такие как лесные массивы, земли сельхозназначения, водотоки и водоемы. Для исследования был выбран Большеболдинский муниципальный район Нижегородской области, относящийся к тем территориям, на которых в большом количестве сосредоточены природные объекты и относительно мало объектов антропогенного происхождения. Район богат реками, лесами, его почвы благоприятны для ведения сельскохозяйственного производства, а великолепные естественные природные ландшафты и множество исторических объектов культурного наследия как нельзя лучше способствуют развитию туризма, спорта и активного отдыха.

Геоинформационное моделирование природных объектов позволяет следить за их временными и пространственными изменениями, и вследствие своевременно принятых решений корректировать или предупреждать возможные негативные последствия.

© Попов Е. В., Юрченко П. В., 2025

Важно вовремя отследить тенденции к уменьшению лесных массивов и выявить их причины [1].

Обработанные в геоинформационных системах данные дистанционного зондирования земной поверхности, полученные со спутниковых снимков, позволяют работать как со всеми природными ресурсами региона, так и сосредоточиться на отдельных, наиболее важных объектах. Для этой работы требовался достаточно эффективный и относительно несложный алгоритм, позволяющий проводить распознавание изображений исследуемых природных объектов на спутниковых снимках и использовать полученные результаты для дальнейших решений.

1. Выявление на спутниковых снимках изображений лесных массивов

Лесные массивы были выбраны для исследования как наиболее значимые природные объекты Большеболдинского района. Известно, что при изучении объектов, занимающих на поверхности Земли значительные по площади территории, используют данные дистанционного зондирования [2]. Чаще всего их можно получить из материалов спутниковых снимков, данных аэрофотосъемки, а также снимков, сделанных с помощью беспилотных летательных аппаратов. Поскольку последние два источника съемки требуют специфических инструментов и не всегда возможны для свободного доступа, было решено использовать материалы хранилищ спутниковых снимков, доступные широкому кругу пользователей. Из существующих открытых источников были отобраны снимки исследуемой территории за период с 2014 по 2021 год, сделанные спутниками Landset 8 и 9 в период вегетации (с мая по сентябрь) в хорошую ясную и безоблачную погоду, таким снимкам требовалось меньше предварительных процедур обработки, и их можно было использовать для создания геоинформационной модели. Отбор снимков для анализа изображений природных объектов на них является важной составляющей данной работы, поскольку большая часть снимков, имеющихся в открытом доступе, требует значительной предварительной обработки, так как содержит атмосферный шум, облака и тени от них, затеняющие поверхность Земли и искажающие яркость элементов снимка.

Следующие этапы работы с выбранными снимками в рамках рассматриваемого подхода предполагали применение геоинформационных технологий и проводились в геоинформационной системе QGIS [3]:

- Сборка растрового снимка с помощью модуля GDAL Tools.
- Выделение сцен снимка, содержащих исследуемую территорию.

– Отделение фрагментов сцен, содержащих лесные массивы.
– Моделирование лесных массивов с помощью плагинов QGIS [4].
– Получение размеченного одноканального растра с изображениями лесных массивов.

При сборке снимка были взяты данные каналов с 1 по 7 и объединены в виртуальной среде GDAL Tools QGIS. Затем на выделенных фрагментах снимка, содержащих лесные массивы, были добавлены векторные слои для осуществления разметки и классификации изображений лесных массивов. На основании этих данных в последствии создавалась их геоинформационная модель.

Для создания геоинформационной модели лесных массивов добавленный векторный слой был размечен с помощью эталонных полигонов (рис. 1).

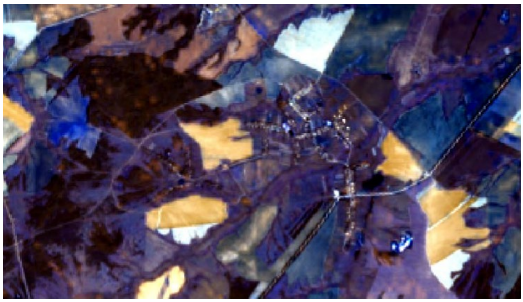
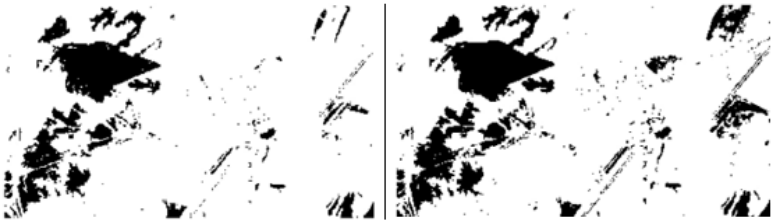


Рис. 1. Векторный слой фрагмента спутникового снимка

В рамках проводимого исследования выявление изображений лесных массивов означает проведение дихотомической классификации выбранного фрагмента сцены спутникового снимка, посредством которой были получены одноканальные растры с пикселями двух типов – относящиеся к лесным массивам и не относящиеся к таковым.

Поэтому следующим шагом для классификации изображений лесных массивов на спутниковых снимках были применены два известных алгоритма машинного обучения – метод Random Forest и метод K-Nearest Neighbors, реализованные в QGIS посредством встроенных плагинов [4]. В результате проведенной классификации на одноканальном растре, получаемом как результат работы плагина, были автоматически выделены лесные массивы, а остальная территория, не относящаяся к ним, осталась неразмеченной. Результаты классификации с применением выбранных для изучения алгоритмов машинного обучения приведены на рисунке 2.



а б

а – метод Random Forest, б – метод K-Nearest Neighbors

Рис. 2. Одноканальные растры, полученные с помощью методов машинного обучения

2. Анализ результатов применения комплексного подхода к распознаванию изображений лесных массивов

Полученные результаты были изучены методами сравнительного анализа и с помощью разработанного алгоритма сопоставления с эталонной цифровой моделью исследуемой территории, полученной в результате ручной оцифровки снимка с опорой на актуальную топографическую карту местности (рис.3). Необходимо отметить, что ручная оцифровка представляет довольно трудоемкий процесс, требующий от специалистов определенных навыков и соответствующего программного обеспечения. Он занимает продолжительное время и затратен во многих отношениях.



Рис. 3. Эталонная модель исследуемого фрагмента снимка

Алгоритм сопоставления с эталонной цифровой моделью был разработан на языке Python. В алгоритме использованы стандартные функции библиотеки numpy, функции библиотеки pyrsgis [5]. Для выполнения попиксельного сравнения двух растровых фрагментов снимка (полученного в результате применения алгоритмов машинного

обучения и цифрового эталона) были применены функции считывания растров в массивы, циклы с параметрами и вычисление процента совпадений двух массивов данных.

Было отмечено, что оба алгоритма машинного обучения, выбранные для автоматизированной классификации растра, показали довольно высокую степень точности. Изображения лесных массивов, распознанные на спутниковом снимке автоматизированным способом, совпадали с эталонной геоинформационной моделью более чем на 85%. Менее результативным показал себя алгоритм K-Nearest Neighbors (85,2% совпадений), более результативным – алгоритм Random Forest (87,3% совпадений).

Заключение

Сделан вывод о том, что автоматизированные способы распознавания объектов на спутниковых снимках требуют более тщательной подготовки исходных данных. Необходимо продолжать исследование самих алгоритмов машинного обучения для выбора наиболее подходящего, то есть того, который бы позволил получить совпадение полученной разметки растра с эталонной цифровой моделью более чем на 90%. Тогда в результате будет получена более точная геоинформационная модель исследуемой территории.

Список литературы

1. Барталев, С. А. Состояние и перспективы развития методов спутникового картографирования растительного покрова России / С. А. Барталев, В. А. Егоров, В. О. Жарко, Е. А. Лупян, Д. Е. Плотников, С. А. Хвостиков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12. – № 5. – С. 203–221.

2. Габитова, А. А. Дистанционное зондирование и ГИС в оценке лесозарастания неиспользуемых сельскохозяйственных земель / А. А. Габитова // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 11. – С. 42-46.

3. Жуковский, О. И. Геоинформационная система QGIS: Учебно-методическое пособие / О. И. Жуковский. – Томск, 2018. – 81 с.

4. Репозиторий плагинов QGIS Python. Плагин dzetsaka [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://plugins.qgis.org /plugins/dzetsaka/#plugin-about

5. Pirsgys 0.4.1 [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://pypi.org/project/pyrsgis/

Нейросетевая модель для прогнозирования развития осложнений и летальности при инфаркте миокарда

Н. Равшанов, email: ravshanzade-09@mail.ru
Д. Д. Ахмедов, О. А. Пекось

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и искусственного интеллекта

Аннотация. *Рассмотрена разработка нейросетевой модели, позволяющей решать связанные задачи многомерной бинарной классификации осложнений и многоклассовой классификации причин летального исхода при инфаркте миокарда. Основным источником данных для исследования являлась база данных пациентов, собранная в Красноярской межрайонной клинической больнице № 20 имени И.С. Берзона. Обученная модель демонстрирует достаточную точность при прогнозировании развития осложнений и неблагоприятных исходов заболевания, а также способность учитывать сложные взаимодействия между клиническими факторами, что потенциально делает модель полезным инструментом для поддержки принятия решений в кардиореабилитации.*

Ключевые слова: *многозадачная нейронная сеть, глубокое обучение, прогнозирование летальности, функция потерь, дисбаланс классов.*

Введение

Прогнозирование развития осложнений и неблагоприятных исходов инфаркта миокарда (ИМ), а также анализ факторов риска, имеют важнейшее значение в кардиологической практике. С этой целью, научным медицинским сообществом разрабатываются и широко применяются специализированные калькуляторы или шкалы (GRACE, TIMI, HEART и др.), позволяющие определить риски развития неблагоприятных кардиальных событий.

Подобные кардиологические шкалы разрабатываются на основе статистического анализа обширного количества клинических данных. При их разработке исследователи выявляют ключевые факторы риска, которые вносят наибольший вклад в предсказание исходов, и назначают им веса, отражающие их влияние на вероятность конкретного события. К достоинствам традиционных шкал относятся простота, высокая интерпретируемость и, как правило, широкое признание в медицинском

© Равшанов Н., Ахмедов Д. Д., Пекось О. А., 2025

сообществе. К недостаткам же можно отнести ограниченную гибкость в силу того, что, как правило, шкалы фиксируют набор признаков и не могут адаптироваться к новым данным.

Отчасти именно этим объясняется значительный интерес со стороны многочисленных исследователей к моделям машинного обучения (МО). Современные методы машинного обучения, особенно искусственные нейронные сети (ИНС), обладают высоким потенциалом решения задач прогнозирования неблагоприятных кардиоваскулярных событий у пациентов с различными формами коронарного синдрома [1-4].

В большинстве случаев создание и обучение нейронных сетей направлено на решение конкретной односложной задачи классификации или регрессии. Но, в ситуациях, когда данные содержат много классов, обладают сложной структурой либо предполагают решение комплексной задачи, такой как понимание траектории развития заболевания, применяют каскад или ансамбль из нескольких нейросетевых моделей, что позволяет захватить различные аспекты данных. Хотя такой подход является довольно популярным, все же редуцирование исходной комплексной задачи до отдельных более простых задач, каждая из которых требует отдельной модели с обучением, не всегда целесообразно. Тогда можно обратиться к моделям глубокого обучения на основе многозадачных нейронных сетей, решающих две и более связанные задачи. И именно эта проблема развития многозадачных нейронных сетей гораздо меньше проработана до настоящего времени.

С учетом сказанного, целью данной работы является создание многозадачной нейросетевой модели, позволяющей решать две тесно связанные задачи: многомерной бинарной классификации осложнений ИМ и прогнозирования летального исхода ИМ с многоклассовой классификацией его причин.

1. Описание данных

Используемая в настоящей работе БД пациентов, перенесших ИМ, была собрана в Красноярской межрайонной клинической больнице № 20 имени И.С. Берзона (Россия) в 1992-1995 годах [5]. По замыслу составителей целью формирования этой БД изначально ставилось тестирование различных систем распознавания и прогнозирования.

Датасет содержит широкий спектр медицинских данных о 1700 пациентах, перенесших ИМ, включая клинические данные на момент поступления, демографические данные, анамнез, данные инструментальной и лабораторной диагностики, информацию о терапии

и др. – всего 111 независимых переменных (предикторов) и два набора целевых переменных:

1) возможные осложнения инфаркта-миокарда, такие как мерцательная аритмия, суправентрикулярная тахикардия, отек легких, разрыв миокарда и др., всего 11 целевых бинарных переменных;

2) причины летального исхода, включая кардиогенный шок, отек легких, разрыв миокарда, асистолию и другие, всего 1 целевая категориальная переменная.

Согласно информации в БД, из 1700 пациентов 232 пациента умерли в отделении интенсивной терапии вследствие различных осложнений. Нужно отметить, что реальные наборы данных, как правило содержат различные несоответствия и могут быть крайне разбалансированным. Данный датасет не исключение, поэтому требует предварительной обработки перед прогнозным моделированием.

Как указывают составители датасета [5], в общем случае для прогнозирования можно использовать все 111 предикторов (столбцы № 2 – 112). При этом, существует четыре возможных момента времени для прогнозирования: на основе информации, известной: во время поступления в больницу (все столбцы за исключением № 93-95, 100-105); через 24 часа после поступления (все столбцы за исключением № 94, 95, 101, 102, 104, 105); через 48 часов после поступления (все столбцы за исключением № 95, 102 и 105); через 72 часа после поступления (все столбцы № 2-112).

В ходе решения задач многомерной бинарной классификации осложнений и многоклассовой классификации причин летальности для обучения нейронной сети использовались все доступные предикторы.

2. Архитектура модели

Пусть $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{n \times m}$ – матрица признаков, где n – количество пациентов, m – количество признаков. Каждый пациент представлен вектором признаков, которые модель получает на вход – $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^m$, $i = 1, 2, ..., n$.

Нейронная сеть состоит из L скрытых слоев с параметрами $\left\{\mathbf{W}^l, \mathbf{b}^l\right\}$, $l = 1, 2, ..., L$. Количество скрытых слоев и размерность каждого слоя d_l, являются гиперпараметрами модели, то есть могут быть выбраны в процессе настройки.

В нашем случае нейросеть состоит из входного, трёх скрытых ($L = 3$) и двух выходных слоёв со следующими размерностями: $d_0 = m$,

$d_1 = 512$, $d_2 = 256$, $d_3 = 128$, $d_4 = 11$ и $d_5 = 8$. Количество эпох E было принято равным 50.

В ходе обучения применяется мини-пакетный градиентный спуск. Отметим, что шаги алгоритма повторяются на каждой эпохе до достижения критериев остановки. Детальное описание алгоритма обучение, приводится в следующем параграфе.

Иллюстрация описанной архитектуры многозадачной нейронной сети приведена на рис. 1.

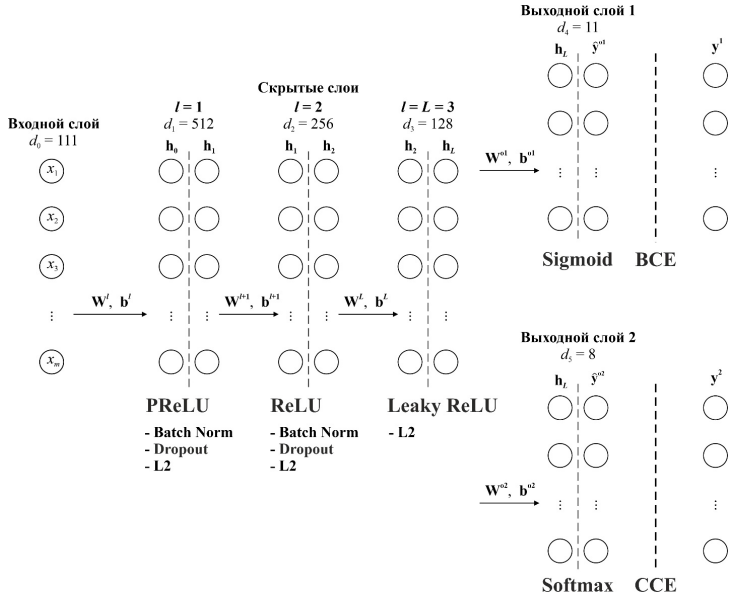


Рис. 1. Архитектура многозадачной нейронной сети.

3. Алгоритм обучения

В процессе прямого хода для каждого скрытого слоя l вычисляется выходное значение:

$$\mathbf{h}^l = g^l\left(\mathbf{W}^l\mathbf{h}^{l-1} + \mathbf{b}^l\right), \tag{1}$$

где $\mathbf{W}^l \in \mathbb{R}^{d_l \times d_{l-1}}$ – матрица весов слоя l; $\mathbf{b}^l \in \mathbb{R}^{d_l}$ – вектор смещений слоя l; g^l – функция активации для слоя l.

На входном слое $\mathbf{h}^0 = \mathbf{x}_i$ весовые матрицы инициализируются случайными значениями, а векторы смещений нулями.

Сначала применяется аффинное преобразование: $\mathbf{z}^l = \mathbf{W}^l \mathbf{h}^{l-1} + \mathbf{b}^l$, а затем пакетная нормализация для каждого j-го нейрона:

$$\mu_j^l = \frac{1}{B}\sum_{i=1}^{B} z_{ij}^l,\ \left(\sigma_j^l\right)^2 = \frac{1}{B}\sum_{i=1}^{B}\left(z_{ij}^l - \mu_j^l\right)^2, \tag{2}$$

где μ – среднее значение, $\left(\sigma_j^l\right)^2$ – дисперсия по пакету размером B. Отметим, что в нашем случае размер пакета $B = 64$.

Далее, нормализуются активации $\hat{z}_{ij}^l = z_{ij}^l - \mu_j^l \Big/ \sqrt{\left(\sigma_j^l\right)^2 + \varepsilon}$, где малое число для обеспечения стабильности $\varepsilon = 10^{-5}$. Затем, применяются обучаемые параметры масштабирования и сдвига: $\tilde{z}_{ij}^l = \gamma_j^l \hat{z}_{ij}^l + \beta_j^l$, которые в начале инициализируются так $\gamma_j^l = 1$ и $\beta_j^l = 0$.

Выбор функции активации зависит от конкретного слоя и является частью настройки модели. Как известно, в процессе обучения многослойных сетей может возникать проблема «затухающего градиента», когда производные ошибки по весам становятся очень малыми по мере продвижения назад через слои. Это приводит к тому, что веса на начальных слоях сети обновляются крайне медленно или вообще не изменяются, что замедляет или даже останавливает обучение всей сети.

Для улучшения обучения и предотвращения указанной проблемы, но без чрезмерного увеличения вычислительных затрат, здесь предлагается использовать несколько функций активации.

На первом скрытом слое – PReLU, на втором слое, то есть при $l = 2$, используем ReLU, а на третьем слое при $l = 3$ – Leaky ReLU..

Для предотвращения переобучения, на первых двух скрытых слоях $l = 1$ и $l = 2$ применяем метод исключения (англ. Dropout) с вероятностью отключения нейронов p_{d}^l. На каждом из этих двух слоёв создаем бинарный маскирующий вектор $r^l \in \mathbb{R}^{d_l}$, в котором каждый элемент r_j^l – независимая случайная величина для каждого нейрона, принимающая значения:

$$r_j^l = \begin{cases} 1, & \text{с вероятностью } p_{\text{k}}^l; \\ 0, & \text{с вероятностью } p_{\text{d}}^l, \end{cases} \tag{3}$$

где значения вероятностей $p_{\text{k}}^l = 0,6$ и $p_{\text{d}}^l = 0,4$ подобраны экспериментально.

Затем применяем полученную маску к активациям $h_{ij}^{l} = \left(r_j^l \,/\, p_{\text{k}}^l\right) h_{ij}^l$. Здесь деление на p_{k}^l необходимо для сохранения математического ожидания активаций.

Согласно условию задачи, предлагаемая модель содержит два выходных слоя. Первый выходной слой для многомерной бинарной классификации $k = 11$ осложнений. Здесь используем сигмоидальную функцию активации, применяемую поэлементно:

$$\hat{y}_{ij}^{\text{o1}} = \sigma\left(\sum_{s=1}^{d_L} W_{js}^{\text{o1}} h_{is}^{L} + b_j^{\text{o1}}\right),\ j = 1,2,...,k\,. \tag{4}$$

Второй выходной слой для задачи многоклассовой классификации $C = 8$ причин летального исхода. На данном слое для получения распределения вероятностей по классам используем softmax-функцию активации, применяемую поэлементно:

$$\hat{y}_{ij}^{\text{o2}} = \frac{\exp\left(\sum_{s=1}^{d_L} W_{js}^{\text{o2}} h_{is}^{L} + b_j^{\text{o2}}\right)}{\sum_{c=1}^{C} \exp\left(\sum_{s=1}^{d_L} W_{cs}^{\text{o2}} h_{is}^{L} + b_c^{\text{o2}}\right)},\ j = 1,2,...,C\,. \tag{5}$$

Перед описанием обратного хода алгоритма обучения, следует отметить важный момент. В медицинских данных часто присутствует дисбаланс классов. Не исключением является и данный датасет, используемый для обучения нейросети. Для устранения дисбаланса классов выполняется дополнение (англ. oversampling) миноритарных классов до 50% от количества в мажоритарном классе. Также, во избежание проблемы переобучения, наряду с упомянутым методом Dropout здесь применяется и метод L2-регуляризации.

Оценка ошибки прогнозирования первого классификатора реализуется методом бинарной кросс-энтропии (логарифмическая функция потерь)

$$\mathcal{L}_1 = -\frac{1}{n \times k} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} \left[y_{ij}^{\text{o1}} \ln\left(\hat{y}_{ij}^{\text{o1}}\right) + \left(1 - y_{ij}^{\text{o1}}\right) \ln\left(1 - \hat{y}_{ij}^{\text{o1}}\right) \right], \tag{6}$$

где $y_{ij}^{\text{o1}} \in \{0,1\}$ – истинное значение наличия либо отсутствия j-го осложнения у i-го пациента; $\hat{y}_{ij}^{\text{o1}}$ – предсказанная вероятность j-го осложнения у i-го пациента.

В качестве функции потерь второго классификатора причин летального исхода, используем категориальную кросс-энтропию:

$$\mathcal{L}_2 = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{C} y_{ij}^{\text{o2}} \ln\left(\hat{y}_{ij}^{\text{o2}}\right), \tag{7}$$

где $y_{ij}^{\text{o2}} \in \{0,1\}$ – истинная метка класса, $y_{ij}^{\text{o2}} = 1$, если i-й пациент принадлежит j-му классу, иначе $y_{ij}^{\text{o2}} = 0$; $\hat{y}_{ij}^{\text{o2}}$ – предсказанная вероятность принадлежности i-го пациента j-му классу.

Общая функция потерь является суммой потерь по обеим задачам с учетом регуляризации: $\mathcal{L} = \alpha\mathcal{L}_1 + \beta\mathcal{L}_2 + \mathcal{R}$, где $\alpha = 3,0$ и $\beta = 1,0$ – гиперпараметры, определяющие вклад каждой задачи, значения которых подобраны экспериментально; $\mathcal{R}$ – регуляризационный член.

Для осложнений, сначала вычисляем ошибку на выходе

$$\delta_{ij}^{\text{o1}} = \hat{y}_{ij}^{\text{o1}} - y_{ij}^{\text{o1}}. \tag{8}$$

Затем, градиенты по параметрам

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial W_{js}^{\text{o1}}} = \frac{\alpha}{B}\sum_{i=1}^{B}\delta_{ij}^{\text{o1}} h_{is}^{L} + \lambda W_{js}^{\text{o1}}; \qquad \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial b_j^{\text{o1}}} = \frac{\alpha}{B}\sum_{i=1}^{B}\delta_{ij}^{\text{o1}}. \tag{9}$$

Аналогично для летальности, вычисляем ошибку на выходе

$$\delta_{ij}^{\text{o2}} = \hat{y}_{ij}^{\text{o2}} - y_{ij}^{\text{o2}}. \tag{10}$$

Затем, градиенты по параметрам

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial W_{js}^{\text{o2}}} = \frac{\beta}{B}\sum_{i=1}^{B}\delta_{ij}^{\text{o2}} h_{is}^{L} + \lambda W_{js}^{\text{o2}}; \qquad \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial b_j^{\text{o2}}} = \frac{\beta}{B}\sum_{i=1}^{B}\delta_{ij}^{\text{o2}}. \tag{11}$$

Далее, переходим к скрытым слоям. Для третьего скрытого слоя ($L = 3$) суммарная ошибка

$$\delta_{ij}^{L} = \left(\sum_{s=1}^{k}\delta_{is}^{\text{o1}} W_{sj}^{\text{o1}} + \sum_{c=1}^{C}\delta_{ic}^{\text{o2}} W_{cj}^{\text{o2}}\right) g'\left(\tilde{z}_{ij}^{L}\right). \tag{12}$$

где s – индекс суммирования по классам осложнений от 1 до k; c – индекс суммирования по классам летального исхода от 1 до C; $g'\left(\tilde{z}_{ij}^{L}\right)$ – производная функции активации Leaky ReLU на третьем скрытом слое.

Вычисляем градиенты по параметрам

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial W_{js}^{L}} = \sum_{i=1}^{B}\delta_{ij}^{L} h_{is}^{L-1} + \lambda W_{js}^{L}; \qquad \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial b_j^{L}} = \sum_{i=1}^{B}\delta_{ij}^{L}. \tag{13}$$

Аналогичным образом, повторяем этот процесс для второго $l = 2$ и первого $l = 1$ скрытых слоев, учитывая исключённые нейроны и пакетную нормализацию.

Полное описание обратного распространения ошибки с учетом пакетной нормализации здесь опускается, так как при программной реализации использовались встроенные алгоритмы из состава библиотек Keras и TensorFlow.

Для адаптивного обновления параметров был использован популярный оптимизатор Adam [6].

Критерием остановки итерационного процесса являются условия достижения максимального числа эпох; отсутствия улучшений на валидационном наборе в течение заданного числа эпох (ранняя остановка); достижения требуемого значения функции потерь или метрики качества.

4. Оценка качества модели

На рис. 2 – 5 приведены результаты расчетов по оценке качества модели. Приведенные графики основных метрик позволяют сделать вывод о том, насколько хорошо модель справляется с поставленными задачами многомерной бинарной классификации осложнений ИМ и многоклассовой классификации причин летального исхода.

Кривые на рис. 2. показывают изменения потерь для классов осложнений и летальности по эпохам для обучающей (о/в) и валидационной (в/в) выборок.

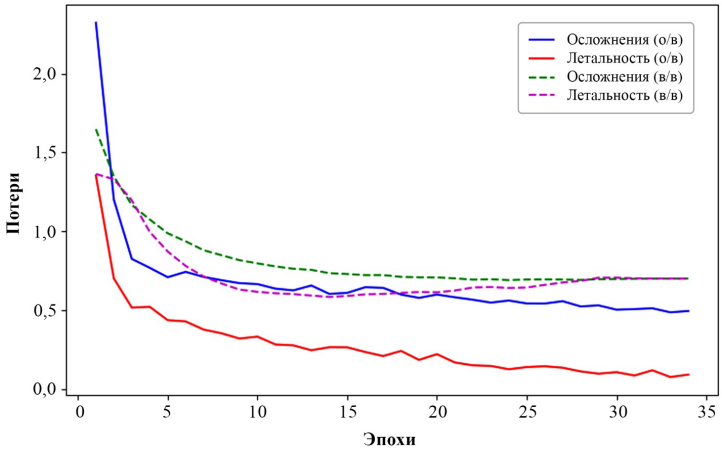


Рис. 2. Изменения потерь для классов осложнений и летальности по эпохам.

Как можно видеть из рис. 2, имеет место довольно резкое снижение потерь на первых нескольких эпохах, после чего значения функций потерь стабилизируются на низком уровне. Из чего можно понять, что модель эффективно обучается в начале и к 25 эпохе постепенно достигает состояния близкого к сходимости. При этом, кривая функции потерь для причин летальности снижается быстрее и стабилизируется на более низком уровне, чем для осложнений, что указывает на лучшую сходимость модели для предсказания летальных исходов.

На рис. 3 иллюстрируется изменение точности по эпохам для классов осложнений и летальности, как и на рис. 2 – для обучающей (о/в) и валидационной (в/в) выборок.

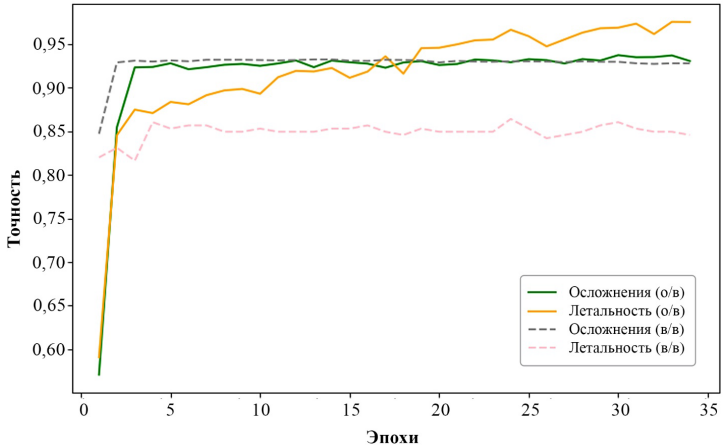


Рис. 3. Изменение точности модели для классов осложнений и летальности по эпохам.

Из рис. 3 видно, что точность стремительно возрастает в первые эпохи, а затем остаётся на довольно высоком уровне, достигая значений около 0,9. Такое поведение кривых указывает на эффективное обучение модели и её способность сохранять высокую точность на протяжении обучения.

В целом же, результаты показывают достаточно успешное обучение модели с удовлетворительной сходимостью для обоих типов предсказаний и большинства классов – 77% для осложнений и 86% для летальности.

Похожие исследования с тем же самым датасетом проводились и другими авторами [7-10]. Исходя из сравнительного анализа качества моделей прогнозирования осложнений и негативных исходов ИМ

различных авторов, разработанная в данном исследовании модель, является сопоставимой по эффективности, а в отдельных случаях демонстрирует некоторое превосходство по метрике точность (accuracy). При этом модель позволяет решать две задачи одновременно, а исходный датасет не подвергается излишнему ресемплингу.

Заключение

Итак, в заключении можно отметить следующее. Разработана многозадачная нейросетевая модель, позволяет решать две связанные задачи: многомерной бинарной классификации осложнений и многоклассовой классификации причин летального исхода ИМ. Проведенный анализ показал, что разработанная нейросетевая модель демонстрирует эффективность, сопоставимую с традиционными методами машинного обучения и моделями других авторов, а в ряде случаев превосходит их. При этом модель хорошо справляется с дисбалансом классов, характерным для баз медицинских данных, собираемых в реальной клинической практике.

Результаты проведенной работы подтверждают перспективность применения моделей глубокого обучения в кардиологии для прогнозирования неблагоприятных событий в ходе кардиореабилитации пациентов, перенесших ИМ.

Список литературы

1. Zheng, H. A cost-sensitive deep neural network-based prediction model for the mortality in acute myocardial infarction patients with hypertension on imbalanced data / Zheng H., Sherazi S.W.A., Lee J.Y // Frontiers in Cardiovascular Medicine. – 2024. – Vol. 11. – DOI: 10.3389/fcvm.2024.1276608.

2. Acute myocardial infarction prognosis prediction with reliable and interpretable artificial intelligence system / Kim M. et al. // Journal of the American Medical Informatics Association. – 2024. – Vol. 31, Issue 7. – P. 1540–1550. – DOI: 10.1093/jamia/ocae114.

3. Machine learning for prediction of all-cause mortality in patients with suspected coronary artery disease: a 5-year multicentre prospective registry analysis / Motwani M. et al. // European Heart Journal. – 2017. – Vol. 38, Issue 7. – P. 500–507. – DOI: 10.1093/eurheartj/ehw188.

4. Predicting In–Hospital Mortality in Patients With Acute Myocardial Infarction / McNamara R. et al. // Journal of the American College of Cardiology. – 2016. – Vol. 68, Issue 6. – P. 626–635. – DOI: 10.1016/j.jacc.2016.05.049.

5. Complications of myocardial infarction: a database for testing recognition and prediction systems / Golovenkin S.E. et al. – URL: https://figshare.le.ac.uk/ndownloader/files/22803572.

6. Kingma, D.P. A Method for Stochastic Optimization / Kingma D.P., Ba J. Adam// arXiv:1412.6980v9. – 2017. – DOI: 10.48550/arXiv.1412.6980.

7. Newaz, A. Predicting complications of myocardial infarction within several hours of hospitalization using data mining techniques / Newaz A., Mohosheu S., Noman A. // Informatics in Medicine Unlocked. – 2023. – Vol. 42. – DOI: 10.1016/j.imu.2023.101361.

8. Reddy, L. Predicting Relapse of the Myocardial Infarction in Hospitalized Patients / Reddy L., Thangam S. // 2022 3rd International Conference for Emerging Technology (INCET). – Belgaum (India), 2022. – P. 1-7. – DOI: 10.1109/INCET54531.2022.9825439.

9. Early Prognosis of Acute Myocardial Infarction Using Machine Learning Techniques / Joshi A. et al. // Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Vol 91. – Singapore: Springer, 2022. – DOI: 10.1007/978-981-16-6285-0_63.

10. El-Harbawi M. Air quality modelling, simulation, and computational methods: a review / El-Harbawi M. // Environmental Reviews. – 2013. – Vol. 21, Issue 3. – P. 149-179.

Выявление зарослей вредоносных растений с использованием методов машинного обучения

А. О. Родионов, email: al.rodionov1990@yandex.ru
С. В. Родионова, Т. В. Юрченко

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация. *В статье представлены результаты применения методов машинного обучения для задач классификации растительного покрова на аэроснимках высокого разрешения с целью выявления зарослей борщевика Сосновского, борьба с вредоносным влиянием которого представляет большую экономическую проблему.*

Ключевые слова: *Машинное обучение, классификация изображений, геоинформационные системы.*

Введение

Современное состояние окружающей среды вызывает тревогу не только из-за неконтролируемых климатических изменений, но и из-за распространения в природе нетипичных для определенных территорий видов растений, которые создают неблагоприятную ситуацию для роста и развития полезных для человека растений и сельскохозяйственных культур, а местами даже угрожают жизни и здоровью людей и животных. Положение дел усугубляется тем, что данные растения мало поддаются обычным методам борьбы с сорняками и требуют применения новых дорогостоящих технологий, материальных, технических и кадровых ресурсов. Необходимость тщательного планирования мероприятий по борьбе с указанными растениями привело к пониманию важности задач, связанных с анализом накопленной информации по их локализации, занимаемой площади, возможных тенденций дальнейшего разрастания и определения других характеристик.

В данном исследовании рассматривалось вредоносное растение борщевик Сосновского, быстрое разрастание которого с течением времени в отдельных регионах нашей страны стало представлять собой плохо контролируемый процесс, имеющий серьезные экономические последствия. Борщевик Сосновского – это вредоносное растение, представляющее опасность для сельского хозяйства, местных экосистем, а также для здоровья человека. Сок растения, попадая на

© Родионов А. О., Родионова С. В., Юрченко Т. В., 2025

кожу, под действием солнечных лучей вызывает сильнейшие ожоги, лечение которых возможно лишь под пристальным наблюдением врачей в течение нескольких недель. Вредное воздействие данного растения на человека настолько высоко, что людям рекомендуется специальная одежда и защитные приборы при взаимодействии даже с одиночно растущими растениями борщевика, не говоря уже о его зарослях. Поэтому использование дистанционных технологий обнаружения и исследования зарослей борщевика становится актуальным и важным этапом процесса планирования мероприятий по борьбе с ним.

1. Анализ ситуации разрастания борщевика по данным дистанционного зондирования земной поверхности

Горизонт использования данных дистанционного зондирования Земли и аэрофотосъёмки постоянно расширяется, и в рамках этого процесса все более актуальным становится применение к этим данным машинного обучения. Наиболее востребованы указанные технологии в тех случаях, когда речь идет об исследовании явлений или объектов, занимающих большие территории, и при этом труднодоступных по различным причинам для изучения иными методами.

Стремительное распространение борщевика Сосновского является одной из проблем, решить которую может помочь анализ данных спутниковых снимков, а также снимков, полученных в процессе аэрофотосъёмки или съемки с БПЛА.

На данный момент распространение борщевика Сосновского стало настоящей экологической катастрофой – он распространился от центральной части России до Сибири, от Карелии до Кавказа (на рис. 1 территории, занятые борщевиком, выделены штриховкой). Согласно открытой информации, в настоящий момент борщевик распространен в 45 округах Нижегородской области и занимает 6,3 тысячи га. Захватывая территорию, борщевик вытесняет другую растительность, и даже самые живучие сорные растения не могут дать ему отпор.

Ежегодно власти страны выделяют колоссальные суммы на борьбу с борщевиком. Например, в 2020 году только в Москве было выделено 350 млн. рублей на данные цели. Таким образом, борьба с борщевиком является одним из важнейших вопросов современного отечественного сельского хозяйства, экологии и здравоохранения. С 2024 года борьба с вредоносным растением приобретает государственное значение [1].



Рис. 1. Карта распространения борщевика Сосновского

Для обнаружения и оценки распространения вредоносного растения предлагается комплексное применение геоинформационных технологий и алгоритмов машинного обучения к данным дистанционного зондирования поверхности Земли, полученным с ортофотопланов. Ортофотопланы представляют собой фотографические планы местности, на которых представлена земная поверхность и объекты на ней с точной привязкой к заданной системе координат. Ортофотопланы создаются на основе снимков, полученных с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов во время аэрофотосъемки, или с космических аппаратов. Снимки позволяют исследовать обширные территории за меньшее время, и зачастую обходятся дешевле, чем полевое обследование [2].

В данном исследовании предполагалось использование снимков, полученных с пилотируемых летательных аппаратов в ходе периодических плановых осмотров контролируемых территорий Нижегородской области. Преимуществом данных таких снимков является их высокое пространственное разрешение, небольшие по сравнению со спутниковыми снимками геометрические и атмосферные искажения. Все природные объекты на снимках обладают специфическими спектральными характеристиками и именно это позволяет говорить о возможности их распознавания и идентификации автоматизированными способами с применением методов машинного обучения. Так, на изображениях в синтезе естественных цветов (RGB) борщевик Сосновского идентифицируется по ярко-зеленому цвету, выделяющемуся на фоне остальной травянистой растительности (рис. 2).



а б

а – исследуемый снимок, б – снимок с выделенными границами территорий распространения борщевика Сосновского

Рис. 2. Примеры выделения территорий распространения борщевика Сосновского

2. Подготовка данных и применение алгоритма Random Forest

В реализации алгоритмов машинного обучения ключевую роль играют данные, вовлекаемые в обработку. При работе с пространственными данными, главным форматом является GeoTiff, потому что в этом формате присутствует геопривязка и трансформация проекции, также можно накладывать на него другие изображения. Для проведения классификации требуются данные о поврежденной борщевиком растительности. В исследовании использовался ортофотоплан в формате Geotiff, с присутствующими на нем зарослями борщевика (рис. 3).

Алгоритм случайного леса (Random Forest) является одним из распространенных в применении методов машинного обучения, суть его состоит в использовании ансамбля решающих деревьев. Само по себе решающее дерево предоставляет крайне невысокое качество классификации, но из-за большого их количества результат значительно улучшается [3]. Совокупность решений этого большого набора деревьев (леса) ведет к улучшению производительности метода. Окончательное решение достигается на основе большинства меток, полученных от отдельных деревьев.

Необходимо отметить, что в последнее десятилетие в научном сообществе наметилась устойчивая тенденция интеграции геоинформционных технологий и методов машинного обучения [4-5]. Реализация алгоритмов случайного леса возможна не только посредством подготовки самостоятельного прикладного решения, но и с

помощью готовых плагинов, реализованных в различных средах. Последний подход дает значительное преимущество особенно в тех случаях, когда исследование проводится в той предметной области, где программирование является вспомогательным инструментом исследователя. Так, для создания модели машинного обучения и проведения классификации растительности, в которой присутствует борщевик Сосновского, был использован алгоритм Random Forest, реализованный для геоинформационного моделирования в среде ГИС QGIS посредством встроенного плагина.



Рис. 3. Фрагмент снимка с нанесенными контурами эталонных участков для распознавания борщевика Сосновского

После подготовки растра снимка к классификации необходимо создать векторный слой с выделенными эталонными участками объектов, относящихся к разным классам (например лес, река, дома, свалки и т. д.). Эти эталонные участки будут использоваться алгоритмом для обучения. Этому векторному слою необходимо задать ту же проекцию, что и растру.

Выделенные на снимке эталонные участки являются обучающим набором данных, по которому алгоритм Random Forest учится решать, какие из оставшихся пикселей снимка относятся к зарослям борщевика Сосновского, а какие нет. Таким образом производится автоматизированная классификация всех пикселей снимка, результатом которой является размеченный одноканальный растр – аналог снимка или его слой. На рис. 4 представлен результат классификации пикселей снимка, продемонстрированного на рис.3, на котором черным цветом выделены заросли борщевика Сосновского. Данные размеченного таким образом растрового слоя служат основой для дальнейшего анализа ситуации и принятия последующих управленческих решений. Одной из важных особенностей такой классификации является то, что она

позволяет выявить не только значительные скопления вредоносных растений, но и только зарождающиеся очаги его распространения, не очевидно заметные на снимке.

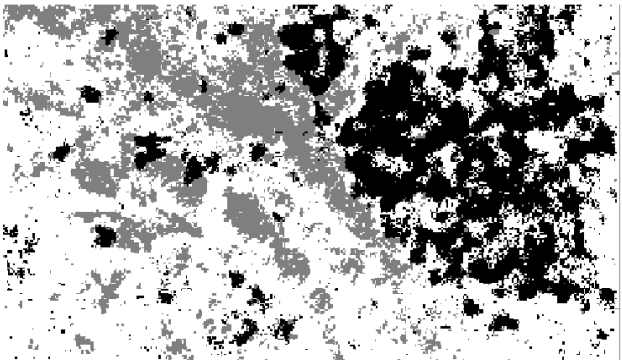


Рис. 4. Результат применения алгоритма Random Forest

Заключение

Рассмотренный в статье комбинированный подход применения к пространственным данным геоинформационных методов и технологий машинного обучения позволяет получить новые данные, использование которых может помочь в уточнении расположения исследуемых объектов, границ территории земной поверхности, занятой ими, в расчете их площадей, а при наличии ряда повторяющихся аналогичных данных – и в выявлении возможных тенденции временных изменений указанных параметров. Применительно к предмету исследования – вредоносным растениям, создающим неблагоприятную экологическую обстановку, – это позволит принимать более продуманные и эффективные решения в борьбе с их распространением.

Список литературы

1. Законопроект №456510-8. О внесении изменений в статью 13 Земельного кодекса Российской Федерации (в части защиты земель от произрастания инвазивных растений) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://sozd.duma.gov.ru/bill/456510-8

2. Аристов, М. Космический снимок или аэросъемка для картографирования в крупных масштабах. Что выбрать? / М. Аристов // InternetGeo. – 2011. – №5. – С. 11–20.

3. Кугаевских, А. В. Классические методы машинного обучения / А. В. Кугаевских, Д. И. Муромцев, О. В. Кирсанова. – СПб: Университет ИТМО, 2022. – 53 с.

4. Стыценко, Е.А. Возможности распознавания сельскохозяйственных угодий с использованием методики совместной автоматизированной обработки разносезонных многозональных космических изображений / Е. А. Стыценко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 5. – С. 172–183.

5. Choi Yo. GeoAI: Integration of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning with GIS // March 2023, Applied Sciences 13(6):3895. DOI:10.3390/app13063895 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.researchgate.net/publication/369393485_GeoAI_Integration_of_Artificial_Intelligence_Machine_Learning_and_Deep_Learning_with_GIS

Сравнительный анализ подходов к сегментации медицинских изображений на основе КТ внутренних органов человека

А. В. Руденко, email: i rudenkoandre@mail.ru [1]
М. А. Руденко, email: rudenko.ma@cfuv.ru [1]
И. Л. Каширина, email: kash.irina@mail.ru [2]

[1] Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь
[2] Воронежский государственный университет, Воронеж

Аннотация. *Статья посвящена вопросам применения методов сегментации в задачах анализа медицинских изображений, полученных по результатам проведения процедуры компьютерной томографии внутренних органов человека. Рассмотрены преимущества и недостатки различных методов сегментации, представлены результаты их программной реализации.*

Ключевые слова: *сегментация, медицинские изображения, компьютерная томография, почка, камень.*

Введение

В современном здравоохранении диагностика и лечение заболеваний все больше полагаются на использование методов визуализации, таких как компьютерная томография (КТ). КТ позволяет получать высоко детализированные изображения внутренних органов человека, предоставляя врачам ценную информацию для постановки диагноза, планирования лечения и мониторинга его эффективности. Однако, визуальная интерпретация КТ-изображений может занимать много времени, особенно для сложных случаев, требующих анализа многочисленных срезов с различными уровнями контрастности.

Для анализа медицинских изображений в медицине применяют различные методы сегментации [1; 2]. Сегментация изображений – это процесс разделения изображения на различные области, соответствующие определенным объектам, в данном случае внутренним органам. Она позволяет автоматизировать процесс анализа КТ-изображений, делая его более точным, быстрым и объективным. Сегментация отделяет интересующие области от фонового шума и позволяет получать количественные характеристики органов, такие как объем, форма, текстура и взаимоотношения с окружающими тканями [3; 4]. Применение сегментации в медицинской визуализации открывает

© Руденко А. В., Руденко М. А., Каширина И. Л., 2025

широкие возможности для повышения эффективности диагностики и лечения. Сегментация медицинских изображений может быть использована для: постановки диагноза – позволяет точно определить размер и форму опухолей, выявить аномалии в структуре органов, определить степень поражения тканей при заболеваниях; мониторинга лечения – сегментация позволяет отслеживать изменения в органах в динамике, оценивать эффективность лечения, предотвращать возможные осложнения [5; 6].

Целью исследования являлся анализ существующих алгоритмов сегментации для реализации в системе поддержки принятия врачебных решений в урологии с применением компьютерного зрения. Для анализа изображений внутренних органов человека, полученных в результате проведения процедуры КТ необходимо подобрать инструмент компьютерного зрения, который способен обнаружить на изображении правую и левую почки, и определить в них наличие или отсутствие камней, чтобы далее было возможно вычислить размеры камня, его массу, построить карту распределения плотности камня по его объему.

Методы сегментации медицинских изображений

Существует множество методов автоматизированной сегментации, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки [7-10].

Пороговая сегментация – метод основан на выделении пикселей изображения, значения которых лежат в определенном диапазоне. Он применяется к изображениям, где объекты отличаются от фона по уровню яркости. Преимущества метода – простой и быстрый в реализации. Недостатки – требует точной настройки порога, что может быть сложно для изображений с высоким шумом или для случаев, когда границы объектов нечеткие.

Сегментация региональным наращиванием (Region Growing) – этот метод использует набор зерен в качестве входных данных, наряду с исходным изображением. Построение сегмента начинается с задания начального зерна, принадлежащего объекту (seed point), и распространяется в соседние пиксели, пока не будут достигнуты границы объекта. Области итеративно расширяются путем сравнения всех нераспределенных пикселей, соседних с уже сегментированными областями. Разница между значением яркости пикселя и средним значением яркости области используется в качестве меры сходства. Этот процесс продолжается до тех пор, пока все пиксели не будут рассмотрены. Поскольку сегментация с помощью растущих областей требует задания начальных зерен в качестве дополнительного входного сигнала, результаты сегментации зависят от выбора этих зерен, а шум на изображении может привести к неправильному отысканию областей.

Преимущества: способность сегментировать объекты сложной формы. Недостатки: зависит от выбора начальных точек.

Сегментация методом водораздела (Watershed Segmentation) – это популярный алгоритм сегментации изображений, который рассматривает изображение как топографическую карту, где яркости пикселей интерпретируются как высоты. Светлым областям соответствуют пики, темным областям- впадины. Идея алгоритма заключается в том, чтобы «затопить» эту топографическую карту водой, начиная с минимальных значений яркости (впадин), пока не встретится вода из разных источников. Места встречи воды образуют границы сегментов. Преимущества сегментации по водоразделу: устойчивость к шуму; способен выделить объекты с нечеткими границами. Недостатки: может порождать ложные границы, если шум сильный или границы объекта слишком нечеткие; трудно применим для объектов со сложной формой, где направление границы трудно определить.

Сегментация методом Оцу – это метод автоматического отыскания порогового значения, который используется для разделения изображения на два класса- объекты и фон. Он основан на принципе максимизации межклассовой дисперсии. Преимущества метода Оцу: не требует ручного выбора порогового значения; работает быстро и нет необходимовсти большой вычислительной мощности. Недостатки метода Оцу: может плохо работать с изображениями с низким контрастом или с несколькими классами; чувствителен к шуму.

Сегментация изображений КТ

Методы сегментации для анализа медицинских изображений, полученных по результатам КТ, были реализованы на языке Python с использованием библиотек SimpleITK и Scikit-image. Для апробации различных методов сегментации из имеющегося набора данных КТ были выбраны по одному изображению для двух пациентов, главным условием было наличие на изображении камня в почке, справа или слева (рисунок 1).

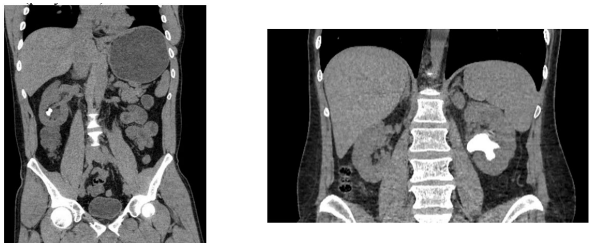


Рис. 1. Исходные изображения для анализа путем сегментации

Для анализа изображений первой была определена сегментация по порогу. Для выделения на изображении тканей различной плотности (твердости) опытным путем были определены следующие диапазоны пороговых значений (трешхолды). Для твердых тканей трешхолд находился в диапазоне 200–255, для мягких тканей – в диапазоне 10–175. Результат сегментации изображений для выделения твердых тканей представлен на рисунке 2.

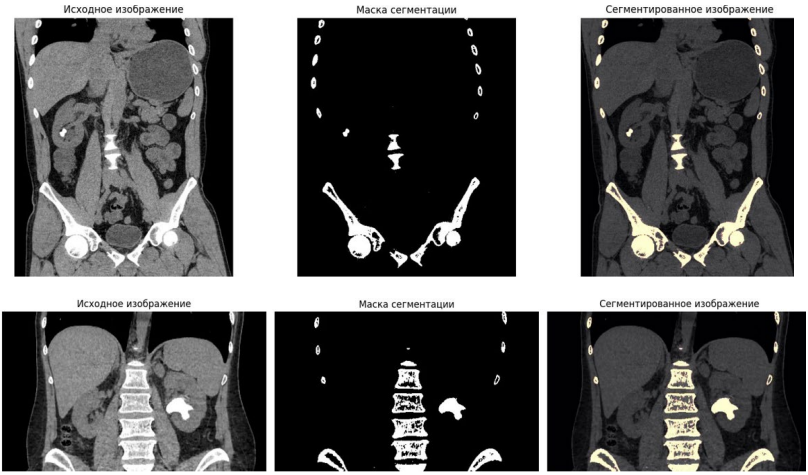


Рис. 2. Результат сегментации по порогу, порог значений в диапазоне 200–255

Результат сегментации изображений для выделения мягких тканей представлен на рисунке 3. С помощью сегментации, реализованной методом пороговой сегментации по снимкам внутренних органов человека, удалось добиться разделения твердых и мягких тканей. Однако, данный метод сегментации мало подходит для решения поставленной задачи поиска на изображении тканей почек, так как пороговые значения для почек находятся в том же диапазоне значений, что и для других тканей (например печень, селезенка, кишечник), то есть невозможно отделить на изображении почку от кишечника или печени. Также пороговые значения камней в почках находятся в том же диапазоне, что и для тканей костей. Таким образом невозможно отличить камень в почке от костей таза, ребер или позвоночника.

Далее был выполнен анализ исходных изображений внутренних органов человека с применением метода сегментации региональным наращиванием. Результаты представлены на рисунке 4.

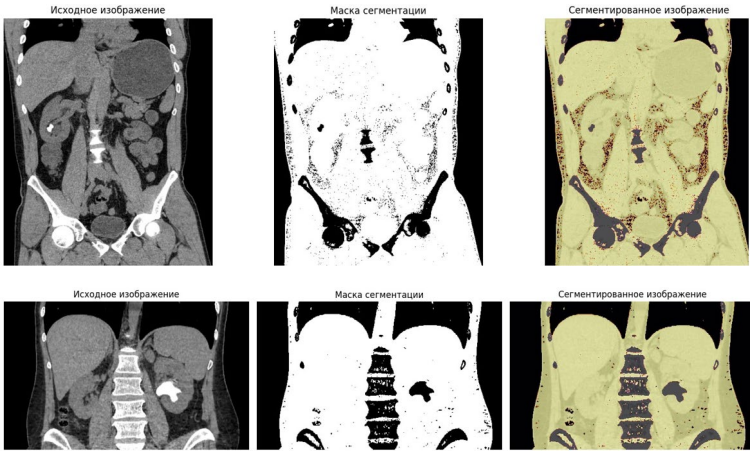


Рис. 3. Результат сегментации по порогу, порог значений в диапазоне 10–175

Данный метод предполагает использование начальных координат точки, с которой начинается выполнение процедуры сегментации. Для определения начальных координат сегментации на исходном изображении была нанесена координатная сетка. Далее по сетке были определены начальные координаты для камня и для почки, выполнена процедура сегментации: найдены контуры камня, найдены контуры правой почки.

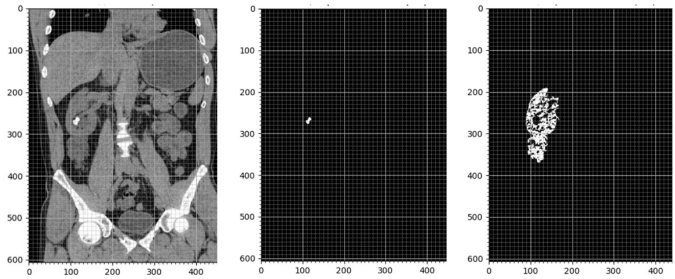


Рис. 4. Анализ изображения с помощью сегментации региональным наращиванием (пациент 1)

Такая же процедура анализа была проделана для изображения пациента 2 (рисунок 5). Камень по заданным координатам начальной точки поиска определился уверенно. Однако почку отделить от других мягких тканей путем перебора координат начальной точки поиска не

удалось. Наилучший результат сегментации представлен на рисунке 5, где почка определилась совместно с тканями селезенки.

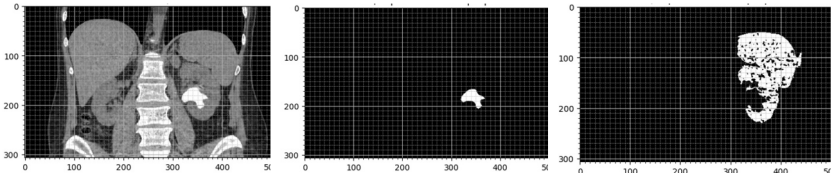


Рис. 5. Анализ изображения с помощью сегментации региональным наращиванием (пациент 2)

Таким образом, применение для анализа изображения внутренних органов по КТ сегментацией методом регионального наращивания для решения задачи поиска камней и почек не подходит, так как для сегментации необходимо задание начальных координат для поиска почек и камней, что в решаемой задаче невозможно.

Анализ изображений с применением сегментации методом Оцу не дал в результате обнаруженных тканей почек или камней, метод оказался не пригоден для решения задачи поиска камней в почках на изображениях, полученных по результатам КТ.

Анализ изображений с помощью сегментации водоразделом не дал положительных результатов определения объектов почек и камней, изменения параметров порогов для выделения объектов и минимальных размеров объектов не приводил к визуально различимым между собой результатам сегментации. Метод сегментации водоразделом оказался не пригоден для поиска на изображениях объектов почек и камней для решения поставленной задачи поиска на изображении тканей почек и камней.

Заключение

В статье рассмотрены методы сегментации медицинских изображений, полученных в результате процедуры КТ внутренних органов человека. Сегментация медицинских изображений является ключевой технологией, позволяющей автоматизировать анализ изображений КТ и значительно ускорять процесс диагностики и планирования лечения. С помощью Python и доступных библиотек, таких как SimpleITK, Scikit-image, TensorFlow и Keras, можно реализовать различные методы сегментации, адаптируя их под конкретные задачи. Для решения задачи поиска объектов почек и камней в почках, реализованные в данном исследовании программно методы сегментации медицинских изображений, полученных по результатам

компьютерной томографии внутренних органов человека, желаемых результатов не принесли. Объекты камней обнаруживаются сегментацией по порогу и региональным наращиванием. Однако и в данных методах имеются свои ограничения: сегментация по порогу определяет все объекты выше указанного порога, в том числе кости таза, ребер, позвоночника. Сегментация региональным наращиванием для поиска камней связана с удачным определением начальных координат сегментации, что в задаче поиска объектов камней на изображении является неизвестным. Рассмотренные в данной статье методы сегментации для решения задачи поиска объектов камней и почек не подошли.

Список литературы

1. Батищев, Д. С. Метод сегментации перекрывающихся форменных элементов крови на микроскопических медицинских изображениях / Д. С. Батищев, В. М. Михелев, А. А. Утянский // Экономика. Информатика. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 803-815. – DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-803-815.
2. Джо, К. О. Методы и алгоритмы сегментации изображений / К. О. Джо, О. М. Гергет // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2020. – № 2(8). – С. 11-16. – DOI 10.30987/2658-6436-2020-2-11-16.
3. Лукашик, Д. В. Анализ современных методов сегментации изображений / Д. В. Лукашик // Экономика и качество систем связи. – 2022. – № 2(24). – С. 57-65.
4. Баклашов, Д. М. Обзор некоторых методов и алгоритмов сегментации изображений / Д. М. Баклашов, Т. В. Жашкова, А. И. Мартышкин // Современные информационные технологии. – 2024. – № 39(39). – С. 92-95.
5. Руденко, А. В. Алгоритмы 3D-реконструкции и расчета параметров объектов по результатам детектирования на медицинских изображениях / А. В. Руденко, М. А. Руденко, И. Л. Каширина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 2. – URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1594
6. Руденко, А. В. Метод оценки результатов детектирования и классификации объектов на медицинских изображениях / А. В. Руденко, М. А. Руденко, И. Л. Каширина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2024. – № 1. – С. 137-148. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2024/1/137-148.
7. Недопекин, А. Е. Сегментация изображений для задачи диагностики плоско-вальгусной деформации стоп / А. Е. Недопекин,

В. В. Жилин // Научный результат. Информационные технологии. – 2024. – Т. 9, № 1. – С. 46-57. – DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-1-0-6

8. Смалюк, А.Ф. Сегментация дерматоскопических изображений новообразований кожи. Сравнение методик / А. Ф. Смалюк, М. С. Дешко, И. Д. Купчикова // Системный анализ и прикладная информатика. – 2024. – № 1. – С. 50-58. – ISSN 2309-4923. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/353693.

9. Хайретдинова, Г. И. Улучшенная модель сегментации при геометрических ограничениях для медицинских изображений / Г. И. Хайретдинова // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2023. – № 1-2. – С. 110-112.

10. Хамад, Ю. А. Сегментация опухоли молочной железы на медицинских изображениях с использованием комбинации нечеткой кластеризации и метода порога / Ю. А. Хамад, А. Г. Зотин, К. В. Симонов, А. В. Медиевский // Медицина и высокие технологии. – 2022. – № 1. – С. 44-52. – DOI 10.34219/2306-3645-2022-12-1-44-52.

Использование алгоритма моделирования частотных полос для решения задачи разделения музыкального аудиосигнала

Н. А. Селиверстов, email: va123ma@gmail.com
А. А. Сирота, email: sir@cs.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В статье рассматривается применение алгоритма моделирования частотных полос для решения задачи разделения музыкального аудиосигнала.*

Ключевые слова: *Глубокое обучение, сверточные сети, разделение источников музыкального аудиосигнала.*

Введение

Развитие технологий глубокого обучения и нейронных сетей позволило добиться существенного улучшения результатов во многих областях работы с данными. Одной из таких областей стала обработка сигналов, в частности обработка изображений и аудиосигналов.

Успехи, достигнутые нейронными сетями в задачах сегментации изображений, позволили адаптировать их архитектуры для качественного решения такой задачи обработки звука, как разделение источников аудиосигнала [1]. При этом стремление добиться наилучших возможных результатов побуждает разрабатывать методы и алгоритмы, специфичные для каждой конкретной области применения данных решений.

Так, существенное повышение качества разделения музыкального аудиосигнала может быть достигнуто благодаря реализации методов, учитывающих особенности частотных характеристик музыкальных произведений [2, 3].

В данной статье рассматривается применение алгоритма моделирования частотных полос с целью усреднения плотности информации в спектре для решения задачи разделения музыкального аудиосигнала.

1. Особенности распределения частотных признаков в спектре

Разделение аудиосигнала может осуществляться путем обработки его исходного – временного – представления, а также путем обработки его частотного представления – спектра, получаемого при помощи дискретного оконного преобразования Фурье и отображающего

© Селиверстов Н. А., Сирота А. А., 2025

зависимость частотных характеристик сигнала от времени его звучания [4].

В настоящее время наилучшего качества разделения музыкального аудиосигнала позволяют добиться решения, основанные на обработке спектра, поскольку данный подход предполагает возможность работы с закономерностями в частотных характеристиках, специфичными для сигналов, воспроизводимых музыкальными инструментами [2, 3, 5, 6].

Однако спектр музыкального аудиосигнала сигнала, представляющий собой двумерный сигнал, обладает особенностью – неравномерным распределением признаков, соответствующих частотным характеристикам: количество значимых частотных характеристик в области низких частот выше, чем их количество в равной области высоких частот, что можно заметить, анализируя спектрограмму музыкального аудиосигнала, приведенную на рис. 1.

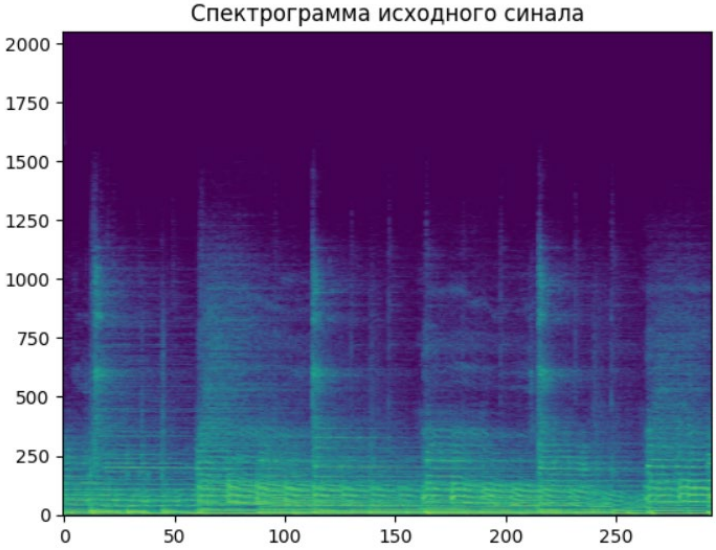


Рис. 1. Спектрограмма музыкального аудиосигнала

Данная особенность спектра музыкальных сигналов объясняется распределением частот звукоряда, советующего строю музыкальных произведений.

В современной музыке наиболее распространенным является равномерно темперированный строй, частоты нот в котором вычисляются на основании следующего соотношения:

$$f_i = f_0 * 2^{i/12}, \quad (1)$$

где f_i – частота целевой ноты, f_0 – частота камертона (на практике наиболее часто соответствует ноте Ля первой октавы и равняется 440 Гц), i – количество полутонов между целевой нотой и эталонной нотой.

Визуализация частот нот равномерно темперированного строя приведена на рис. 2.

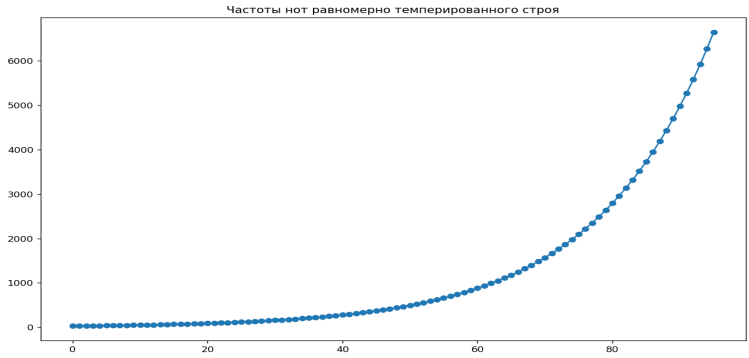


Рис. 2. Частоты нот равномерно темперированного строя [4]

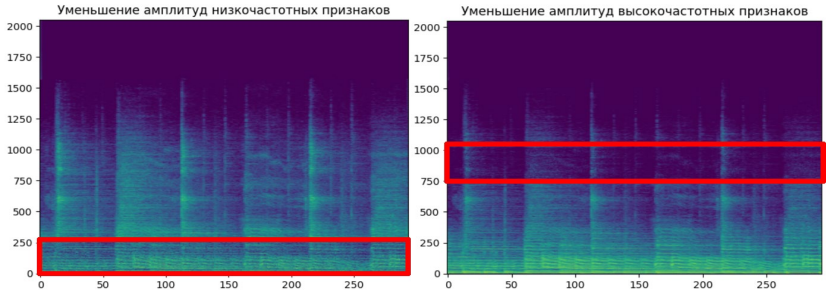
Очевидно, что частоты нот формируют геометрическую прогрессию, следовательно, в некоторой области низких частот находится больше нот, чем в равной области более высоких частот. Учитывая это, а также тот факт, что диапазон большинства музыкальных инструментов находится в области низких и средних частот, в подавляющем числе музыкальных произведений, количество низкочастотных и среднечастотных нот существенно превышает количество высокочастотных нот.

Рассмотрим влияние уменьшения амплитуд низкочастотных и высокочастотных частотных характеристик на качество восстановления сигнала. Для этого выберем частотную полосу на спектрограмме сигнала, приведенной на рис. 1, и умножим все значения в этой полосе на случайный коэффициент $\alpha \in [0, 0.5]$. Из полученной спектрограммы восстановим временное представление сигнала и вычислим значение метрики SDR (Signal To Distortion), отражающее логарифмическую оценку близости сигналов и вычисляемое на основании следующего выражения [7]:

$$SDR(s,\hat{s}) = 10\lg\frac{\|s\|^2}{\|\hat{s}-s\|^2}, \quad (2)$$

где s – эталонный сигнал, $\hat{s}$ – восстановленный сигнал, $\|x\| = \sum_{i=1}^{n}|x_i|$ – норма сигнала.

Визуализация спектрограммы с полосой уменьшенных амплитуд приведена на рис. 3. График зависимости значения метрики SDR от позиции старта полосы приведен на рис. 4.



а б

а – уменьшение амплитуд признаков в низкочастотной области, б – уменьшение амплитуд признаков в высокочастотной области

Рис. 3. Спектрограммы музыкального аудиосигнала с участками уменьшенных амплитуд

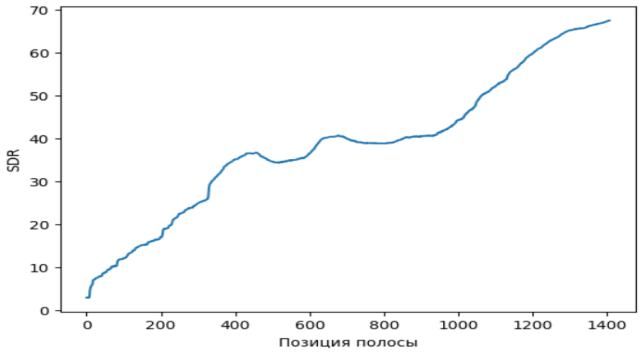


Рис. 4. Зависимость значения метрики SDR от позиции полосы уменьшения амплитуд

Заметно, что качество восстанавливаемого сигнала прямо пропорционально позиции старта полосы уменьшения амплитуд. Таким образом, высокочастотные области спектра несут в себе меньшее количество информации, необходимой для качественного восстановления сигнала.

Рассмотрим применение операции свертки к спектрограмме, осуществляемое в первом сверточном слое нейронных сетей. Фиксированная размерность ядра свертки приводит к тому, что в результирующей матрице элементы, соответствующие низкочастотным областям исходной спектрограммы, несут в себе большее количество информации о значимых частотных характеристиках сигнала, чем элементы, соответствующие ее высокочастотным областям. Таким образом, для усреднения плотности информации в результирующей матрице необходимо осуществить изменение разрешения спектрограммы по оси частот до применения операции свертки.

Неравномерность плотности информации при выполнении операции свертки проиллюстрирована на рис. 5.

Далее рассмотрен способ применения полносвязных слоев для изменения разрешения спектрограммы по оси частот перед ее передачей на вход сверточному слою.

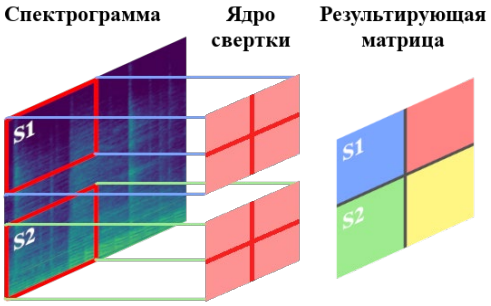


Рис. 5. Неравномерность плотности информации в низкочастотных и высокочастотных областях при выполнении операции свертки

2. Алгоритм формирования частотных полос

Для усреднения плотности информации по частотной оси можно разделить спектрограмму на полосы с различной шириной (наименьшей в области низких частот и наибольшей в области высоких), после чего преобразовать каждую из полос таким образом, чтобы их ширина стала одинаковой [3].

Для изменения размерности данных в нейронных сетях широко используются полносвязные слои, которые позволяют преобразовать входной тензор в соответствии со следующим выражением:

$$Y = XW^T, \tag{3}$$

где $Y \in \mathbb{R}^{S \times N}$ – результирующий тензор, $X \in \mathbb{R}^{S \times M}$ – входной тензор, $W \in \mathbb{R}^{N \times M}$ – тензор трансформации, S – фиксируемая размерность тензора, M – исходная преобразуемая размерность тензора, N – результирующая преобразуемая размерность тензора.

Рассмотрим применение полносвязных слоев для формирования частотных полос согласно описанному выше принципу.

Поскольку полносвязные слои могут работать как с действительными, так и с комплексными числами, то преобразование частотных полос может быть осуществлено как для комплексного спектра, так и для его действительных составляющих (магнитуды и фазы). Далее рассмотрено моделирование полос для магнитуды спектра сигнала.

Пусть на вход алгоритму моделирования полос подается тензор магнитуды $M \in \mathbb{R}^{T \times F}$, где F – размерность спектра по оси частот, T – размерность спектра по оси времени. Тогда на первом этапе необходимо выполнить разбиение магнитуды M на набор из K полос $B_i \in \mathbb{R}^{T \times G_i}$, $i = \overline{1, K}$, для которых $\sum_{i=1}^{K} G_i = F$. Индексы частот G_i задаются вручную и являются константами.

Затем каждая из полос B_i нормируется и преобразуется при помощи полносвязного слоя, формируя набор полос $Z_i \in \mathbb{R}^{T \times N}$, $i = \overline{1, K}$, где N – размерность преобразованной полосы, удовлетворяющая условию $\sum_{1}^{K} N = F$. Полученный набор полос конкатенируется, образуя тензор $Z \in \mathbb{R}^{T \times F}$, размерность которого совпадает с размерностью входного тензора M.

Визуализация работы алгоритма приведена на рис. 6.

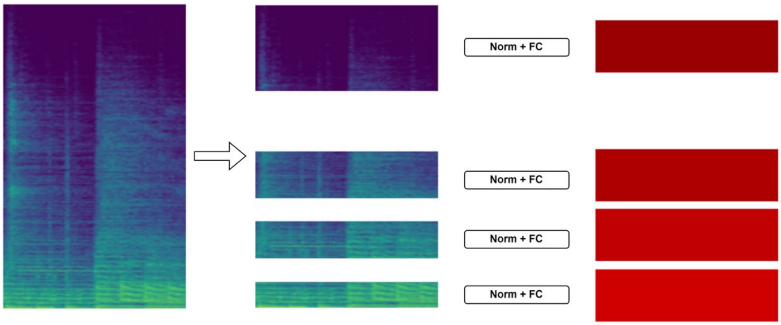


Рис. 6. Алгоритм формирования частотных полос

3. Процесс обучения

В процессе обучения алгоритм формирования частотных полос по магнитуде сигнала добавлен как первый слой к сверточной нейронной сети, обладающей U-Net-подобной архитектурой и позволяющей предсказывать магнитудную маску источника и матрицу поворота его фазы [4, 5]. Количество каналов блоков кодировщика и декодировщика составило 32, 64, 128, 256 и 384. Схема архитектуры нейронной сети приведена на рисунке 7.

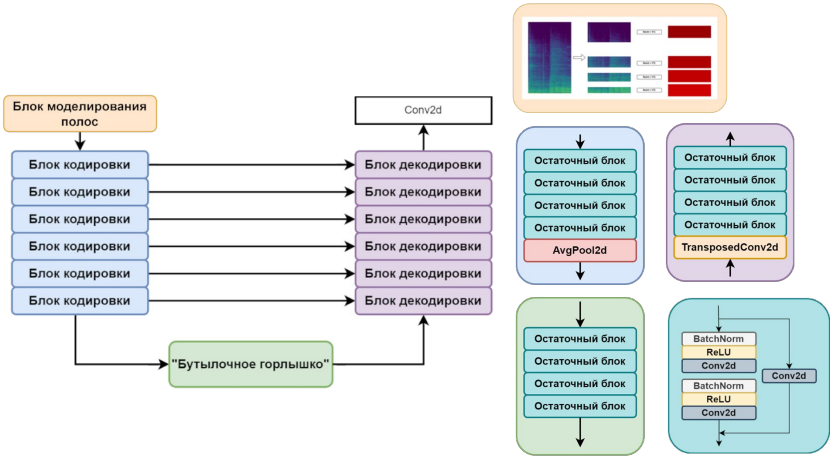


Рис. 7. Архитектура нейронной сети

В качестве набора данных использован датасет MUSDB18, включающий 100 композиций в обучающей выборке и 50 – в тестовой

[8]. Для искусственного расширения набора данных осуществлена аугментация данных [4].

В качестве целевого источника для выделения выбрана вокальная партия.

Для оконного преобразования Фурье установлены следующие значения параметров: ширина окна равна 2048, временной шаг – 441, количество временных отсчетов спектра сигнала – 196. Поскольку частоты аудиосигналов ограничены 16000 Гц, а частота Найквиста для них составляет 22500 Гц (исходя из частоты дискретизации равной 44100 Гц), то верхняя часть спектра может быть обрезана без потери информации. Этот факт позволяет установить ограничение на количество частотных характеристик спектра равным 768. Таким образом, размерность спектра, подаваемого на обучение модели составляет $X \in \mathbb{C}^{196\times768}$.

Для обучения моделей использован оптимизатор Adam, темп обучения установлен равным 0.0001. В качестве функции потерь использована функция L1, принимающая выделенный и эталонный сигналы вокала во временном представлении.

Процесс обучения состоял из 100000 итераций, каждая из которых соответствует обработке сетью одного батча данных. Размер батча установлен равным 5.

4. Результаты обучения

В результате обучения достигнуто значение метрики SDR для выделенного сигнала равное 5.2 Дб, что ниже, чем наилучший результат, полученный при помощи той же нейронной сети без использования алгоритма моделирования полос – 5.8 Дб. Значения метрики SDR для выделенного сигнала вокала приведены в таблице.

Таблица

Значения метрики SDR для выделенного сигнала вокала [4]

Сеть	SDR, Дб
Сверточная сеть	5.8
Сверточная сеть с моделированием частотных полос	5.2

Ухудшение качества выделения может объясняться тем, что скорость обучения полносвязных слоев, не совпадает со скоростью обучения сверточных слоев, находящихся после них. В этом случае необходимо произвести предварительное обучение полносвязных слоев

с целью уменьшения шума в данных, которое они создают на начальных этапах обучения сети.

5. Перспективы развития

В рамках рассматриваемой реализации алгоритма формирования частотных полос необходимо вручную задать ширину полос, на которые делится спектр сигнала. Поскольку различные музыкальные композиции обладают различными особенностями спектра, использование альтернативных способов разбиения частотной оси спектрограммы может оказать положительное влияние на качество выделения сигнала источника.

В качестве перспективных направлений можно выделить подбор разбиений в соответствии с соотношениями частот нот в равномерно темперированном строе, а также путем анализа спектральных характеристик конкретного фрагмента сигнала.

Заключение

В данной статье рассмотрена проблема неравномерности плотности информации в спектре музыкального аудиосигнала, обусловленная особенностями музыкального строя. Для решения данной проблемы рассмотрена интеграция сверточной сети с механизмом моделирования частотных полос при помощи полносвязных слоев.

Список литературы

1. Stoller, D. Wave-U-Net: A Multi-Scale Neural Network for End-to-End Audio Source Separation / D. Stoller, S. Ewert, S. Dixon // International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). – 2018. – DOI: 10.48550/arXiv.1806.03185.
2. Stripe-Transformer: deep stripe feature learning for music source separation / J. Qian [et al.] // EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing. – 2023. – DOI: 10.1186/s13636-022-00268-1.
3. Yi L. Music Source Separation with Band-split RNN / L. Yi, Y. Jianwei // IEEE/ACM Transactions on Audio Speech and Language Processing. – 2022. – DOI: 10.48550/arXiv.2209.15174.
4. Селиверстов, Н. А. Использование глубокого обучения для решения задачи разделения аудиосигнала : магистерская диссертация / Н. А. Селиверстов, А. Ю. Иванков // Воронежский Государственный Университет. – 2024.
5. Decoupling Magnitude and Phase Estimation with Deep ResUNet for Music Source Separation / Q. Kong [et al.] // International Society for

Music Information Retrieval Conference. – 2021. – DOI: 10.5281/zenodo.5624475

6. Music Source Separation on MUSDB18 / Papers With Code [Электронный ресурс] : – Режим доступа : https://paperswithcode.com/sota/music-source-separation-on-musdb18.

7. Vincent, E. Performance measurement in blind audio source separation / E. Vincent, R. Gribonval, C. Févotte // IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing. – 2006. – DOI: 10.48550/arXiv.2209.15174.

8. MUSDB18 – a corpus for music separation / Z. Rafili [et al.] // Zenodo e-prints. – 2017. – DOI: 10.5281/zenodo.1117372.

Выполнение эксперимента как последовательности шагов по анализу и синтезу данных

М. М. Фадеев, email: fadeev_mix@bk.ru
Н. Е. Балакирев, email: balakirev1949@yandex.ru
И. А. Швецов, email: schwetsow.il@yandex.ru
Е. В. Шлапаков, email: shlapakov.2001@mail.ru

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Аннотация. *В данной работе рассматривается решение автоматизации проведения экспериментальных работ, применяемое в рамках направлений исследований по извлечению информационного содержания. Основным компонентом решения является подсистема исполнителей, реализованная в программном инструментальном комплексе. В сочетании с механизмом подключения исполняемых модулей она обеспечивают гибкий формат подготовки шагов выполнения экспериментов в различных направлениях исследований.*

Ключевые слова: *проведение компьютерных экспериментов, автоматизация проведения экспериментов, исследовательские программные комплексы.*

Введение

Автоматизация проведения компьютерных экспериментов является достаточно значимым вопросом [1-6]. Хотя компьютерный эксперимент предполагает использование ЭВМ и программного обеспечения, которые направлены на решение задачи автоматизации сложных вычислений, сохраняются предпосылки для дальнейшей автоматизации. Увеличение проводимых экспериментов на вычислительных устройствах приводит и к росту объёма используемого программного обеспечения. Каждое направление исследований привносит новые вычислительные задачи и их решения в виде программ, написанных по разным практикам и с использованием различных наборов инструментов разработки. Проведение рутинных задач, связанных с обработкой данных посредством вызова множества программ требует от экспериментатора большого объёма знаний и навыков. И чем больше используется программ, с графическим интерфейсом и без, форматов записи данных и т. д., тем сложнее становится проведение

© Фадеев М. М., Балакирев Н. Е., Швецов И. А., Шлапаков Е. В., 2025

эксперимента, организация между различными исследователями и также повышается вероятность совершения ошибок.

В рамках проводимых исследований по извлечению информационного содержания [7] автоматизация проведения экспериментов стала одной из основных задач. С учетом этого была создана базовая инструментальная система, которая обеспечивает единство интерфейсов и методов проведения экспериментов на единой теоретической платформе. Новизна теоретического направления исследований приводит к постоянному переосмыслению предлагаемых подходов и решений, и, как следствие, требует модернизации или разработки всё большего количества программных средств. В дополнение, большое многообразие алгоритмических и программных решений и привлечение новых участников в исследовательские проекты приводит к высокому росту трудозатрат по сопровождению и модернизации базовой инструментальной системы, которая поддерживает проведение таких экспериментов и должна обеспечивать интерфейсы, как для общих соглашений, так и индивидуальных подходов при решении конкретных задач. Это подводит к необходимости создания такой системы, которая должна быть готовой предлагать общие инструменты и в то же время подстраиваться под запросы исследователя, а также иметь открытые интерфейсы для обеспечения расширения функциональных возможностей при решении новых задач.

1. Автоматизация шагов эксперимента через механизм исполнителей

Ввиду необходимости обеспечения технического сопровождение проводимых экспериментов и с учётом указанных проблем в инструментальном комплексе ВОЛНАН [8] был реализован механизм подключения отдельно разрабатываемых программных модулей. А также разработана подсистема исполнителей, которые оперируют исполняемыми модулями в зависимости от их реализации и опциональных параметров.

Исполнитель, являющийся основным компонентом обеспечения автоматизации в программном комплексе, выражает определённую последовательность действий для выполнения одного шага эксперимента. Под шагом эксперимента в данном случае понимается выполнение какой-либо функции. Например, обработка данных по определённому методу, конвертация в другой формат записи, чтение данных и другое. В зависимости от выполняемых операций исполнители классифицируется на уровне комплекса.

Инструментальный комплекс поддерживает интерфейсы подключения для следующих назначаемых операций в рамках анализа и синтеза : данных

- Чтение потока данных из файла определённого формата;
- Запись потока данных в файл определённого формата;
- Изменение численных значений потока данных;
- Приём потока исходных данных от периферийных устройств;
- Передача потока данных на периферийные устройства для воспроизведения.

Каждый оформленный в рамках системы исполнитель становится доступен через динамически добавляемые дополнительные элементы управления в пользовательском интерфейсе. Расположение дополнительных элементов управления, их вид и форма, также согласуется с назначением оформляемых исполнителей. Например, исполнители функций приёма данных от периферийных устройств будут доступны только в соответствующем меню при добавлении нового потока данных, в то время как исполнители функций анализа и синтеза будут отображаться на главной панели рабочего пространства.

Оформленные ранее исполнители могут использоваться повторно как в том же эксперименте, для которого он был подготовлен, так и в других, где могут выполняться такие же шаги. Подготовка комплекса для работы в определённом направлении исследований в итоге сводится к подготовке необходимой цепочки набора исполнителей, обеспечивающих шаги эксперимента через использование готовых исполнителей и формирование новых исполнителей. Таким образом, становится возможным адаптировать программный комплекс под решение поставленной задачи в выбранном направлении исследований, позволяя каждому экспериментатору конструировать собственную систему извлечения информационного содержания. При условии согласования форматов входных и выходных данных всех модулей, такая группа сопряженных исполнителей может представлять отдельную готовую систему, которая обеспечивает решение определённой задачи и может быть использована на практике. Продолжение такой поддержки экспериментов нашло своё отражение в механизме базового инструментального комплекса, который позволяет извлекать такие цепочки исполнителей в нерезидентные программные контейнеры, исполняемые, как отдельные программы, выполняющие роль поддержки выяснения достоверности эксперимента на других потоках данных, так и в качестве готового программного продукта. работа которого не привязана к комплексу.

2. Отличия при оформлении исполнителей в зависимости от способа реализации

Оформление целевого исполнителя состоит из указания набора исполняемых модулей, а также значений обязательных и опциональных параметров протокола обращения исполнителя к модулю. С целью обеспечения более гибкого процесса подготовки инструментального комплекса механизм подключения модулей разработан с учётом реализаций алгоритмов в различных видах программного представления. Ввиду отсутствия строгих технологически ограничений и требований со стороны системы, это позволяет создавать модули с применением предпочитаемых исследователями наборов технологий и инструментов разработки. Свободный выбор способов разработки также позволяет избежать привлечения дополнительных специалистов для проведения исследований, что может быть критично в условиях ограниченности ресурсов или организационной структуры.

В качестве программного модуля может быть исполняемый файл или динамически подключаемая библиотека. Различные реализации предполагают отличные друг от друга способы взаимодействия с инструментальным комплексом, в том числе обмен массивами данных.

Следует отметить, что ответственность за обеспечение модуля необходимыми для запуска вешними программными компонентами (системные модули, базы данных и т. д.) ложится на разработчика модуля. Также при подключении следует учитывать совмещение формата программного модуля с архитектурой компьютера и установленной на нём операционной системой.

Для каждого исполнителя должен быть назначен один головной исполняемый модуль. Головным модулем считается тот, непосредственно к которому будет обращаться исполнитель. При этом не учитываются возможные программные зависимости со стороны самого модуля при обращении к сторонним модулям, так как такое обращение к ним происходит опосредованно. С другой стороны, для одного целевого модуля может быть оформлено множество вариантов исполнителей. Отличия в обращении разных исполнителей к одному модулю могут состоять в передаче различных параметров при вызове подпрограммы, иных названий сопровождающих файлов, или вызове процедур с различными названиями, содержащихся в одной библиотеке.

Реализация модуля в виде исполняемого файла предполагает скомпилированную программу или сценарий, выполняемый интерпретатором. Ввиду ограничений межпрограммного взаимодействия в операционных системах для обмена информации между модулем и инструментальным комплексом используются такие

способы передачи и приёма сообщений, как указание аргументов при вызове программы, чтения кода ответа и указание путей до файлов, для передачи данных больших объёмов инструментальный комплекс. Дополнительно, при подключении исполняемого файла в рамках базового инструментального комплекса, можно указать параметры (шаг) для создания или вызова файла с необходимым потоком данных. Такая настройка даёт возможность передать программе экспериментальные данные, которые вызываемая программа будет загружать из вне. А также обеспечивается возможность автоматизированной загрузки в контур системы потока генерируемых данных, полученных за пределами инструментальной системы.

Иным видом реализации программного модуля является возможность использования динамически подключаемой библиотеки инструментального комплекса. Для такого вида программный интерфейс обеспечивает наиболее полное возможное взаимодействие функций основной программы с модулями общего комплекса, которые зафиксированы в его библиотеке. Это связано с тем, что операционные системы предоставляют общий доступ для всех объединённых программных компонентов к одним фрагментам памяти, что в свою очередь даёт доступ к обмену массивами данных без их записи на дисковое пространство. При таком подключении к разрабатываемым библиотекам предъявляются дополнительные требования: сигнатуры функций должны содержать обязательный набор параметров для обмена информацией с инструментальным комплексом. Обязательным компонентом описателя подключаемой функции является указание собственно самой сигнатуры. Она состоит из следующих возможных элементов значений, которые указываются в порядке, который указан далее:

1. Соглашение о вызове – описание особенностей вызова подпрограмм, определяющее способы вызова подпрограмм и возврата управления, а также передачи параметров и результатов;
2. Тип возвращаемого значения;
3. Имя функции. В сигнатуре в качестве имени может указываться текстовая строка произвольного содержания;
4. Набор параметров.

Все параметры делятся на две группы – входные и выходные. Каждая из этих групп также разделяется на две подгруппы – предустановленные и свободные.

Под входными параметрами понимаются те, которые передаются из контура системы вызываемой функции. Такие параметры передаются в

зависимости от типа данных по значению или адресу, с условием отсутствия изменения.

Выходными параметрами являются те, которые формируются в вызываемой функции и передаются для загрузки или обработке системе. Передача значений осуществляется через запись по передаваемым в качестве параметров адресам областей памяти, которая резервируется в контуре системы перед вызовом. Ограничением при перечислении параметров является то, что любое имя параметра не должно встречаться в сигнатуре больше одного раза. Параметры функции указываются в круглых скобках после имени функции через запятую. Каждый параметр состоит из типа данных, имени и опционального выражения значения для входных свободных параметров.

Заключение

Введённые в программный комплекс исполнители позволили расширить спектр исследований через возможность реализации множества различных вариантов моделей и алгоритмов в рамках одного и того же исследования и проведения эксперимента. Дополнительные исполнители могут обеспечить формирование нового облика системы: подстроиться под определённую область исследований или под потребности конкретного пользователя.

Разработанный инструментальный комплекс был уже использован при проведении нескольких исследовательских работ: исследования по анализу сейсмических данных, звуковой информации, создания программных систем нанесения водяного знак, сжатия звуковой информации и так далее. Благодаря активному применению различными исследователями комплекса при проведении экспериментов с апробированием разработанных моделей и алгоритмов расширяется опыт взаимодействия с системой, с учетом которого постоянно вносятся доработки, качественно улучшающие процесс проведения исследований.

Список литературы

1. Фомичев, Н. И. Автоматизированные системы научных исследований: Учеб. Пособие / Н. И. Фомичев ; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль, 2001. – 112 с.

2. Геловани, В. А. Компьютерное моделирование / В. А. Геловани, В. В. Юрченко // Математическое моделирование. – 1989. Т.1, – №1. – С. 3-12.

3. Ганджа, Т. В. Задачи и архитектура подсистемы документирования исследований в среде многоуровневого моделирования МАРС / Т. В. Ганджа, С. А. Панов // Доклады Томского

государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – 2(24). – Ч. 2. – С. 334-338.

4. Виноградова, Н. А. Научно–методические основы построения АСНИ / Н. А. Виноградова, А. А. Есюткин, Г. Ф. Филаретов. – М. : МЭИ, 1989. – 84 с.

5. Виноградова, Н. А. Автоматизированные системы научных исследований. Техническое обеспечение / Н. А. Виноградова, А. А. Есюткин, Г. Ф. Филаретов. – М. : МЭИ, 1990. – 87 с.

6. Кузьмичев, Д. А. Автоматизация экспериментальных исследований / Д. А. Кузьмичев, И. А. Радкевич, А. Д. Смирнов. – М. : Наука, 1983. – 392 с.

7. Балакирев, Н. Е. Качественный подход в раскрытии информационного содержания волновых данных / Н. Е. Балакирев, М. М. Фадеев, В. С. Родионов // Труды МАИ. – 2024. – № 136.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688814 Российская Федерация. Система обеспечения извлечения информационного содержания волн : № 2023684011 : заявл. 05.11.2023 : опубл. 25.12.2023 / М. М. Фадеев, Н. Е. Балакирев.

Секция 4
Информационные системы и базы данных

Методика разработки прикладных решений для специалистов логистической сферы

Г. Р. Катасонова, email: 1366galia@mail.ru [1]
Т. С. Карпова, email: t.s.karpova@gmail.com [2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, город Санкт-Петербург
[2] Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, город Санкт-Петербург

Аннотация. *Показана методика получения перечня требований к разрабатываемой ИС, сформулированных на естественном языке с использованием аффинитивного анализа и пополнения базы знаний ИС за счёт ручного ввода или в автоматизированном режиме.*

Ключевые слова: *информационные системы, логистика, перевозки, изменения, работа с требованиями.*

Информационные системы (ИС) используются во многих сферах деятельности, в том числе на производственных предприятиях, в учебных заведениях, в медицинских организациях, которые играют ключевую роль в различных сферах деятельности и могут быть адаптированы под специфические нужды конкретной организации. В процессе деятельности у организаций может возникнуть необходимость в дополнении используемой ИС возможностью формирования нового вида отчёта или новыми функциями, например, для интеграции с корпоративными автоматизированными системами [1].

В зависимости от потребностей бизнеса, компании могут реализовывать или запрашивать модификации в своей ИС, чтобы улучшить функциональность, повысить эффективность процессов или интегрировать новые технологии для: 1) формирования нового вида отчёта; 2) интеграции, что может включать разработку API, позволяющие системам обмениваться данными в реальном времени, или создавать нового программного обеспечения для обеспечения совместимости; 3) адаптации под изменения в бизнес-процессах.

Для успешной реализации вышеперечисленных задач важна эффективная работа команды IT-специалистов с представителями бизнеса. Это требует, как технических навыков, так и глубокого понимания специфики конкретной сферы деятельности. Как правило это

© Катасонова Г. Р., Карпова Т. С., 2025

характерно для крупных организаций, которые систематически вносят локальные изменения в используемые ИС, либо разрабатывают «с нуля» внутреннюю ИС для данного предприятия. Такие решения характерны для крупных организаций, в штате которых присутствуют соответствующие IT-специалисты. Остальные организации предпочитают использовать в своей деятельности готовые ИС, доработка которых при необходимости выполняется специалистами фирмы, поставляющей данное программное обеспечение.

Одной из таких фирм может быть компания по разработке ИС для сферы логистики. Логистические ИС предназначены не только для ведения клиентской базы организации и составления отчётов, но и для контроля транспортировки грузов с формированием соответствующих документов. В такой ИС могут храниться следующие данные о клиентах; о заказе на доставку (место, срок, перечень товаров); о складах; об используемых организацией транспортных средствах для доставки грузов или товаров; о сотрудниках, включая помимо стандартного набора данных, например, категорию прав водителей; документах (накладных, путевых листах, чеках об оплате и др.).

Потребителями данного продукта являются организации, оказывающие услуги по доставке грузов. В указанных ИС могут также храниться перечень скидок для клиентов и доплат, например, за негабаритный груз.

Основной задачей логистической системы является формирование условий для принятия эффективных управленческих решений [2]. Это включает в себя оптимизацию процессов управления цепочками поставок, своевременную доставку товаров, снижение издержек, улучшение качества обслуживания клиентов и повышение общей эффективности операций. Логистические системы помогают организациям получать доступ к точной информации в реальном времени, что способствует более обоснованным и оперативным управленческим решениям.

Функциональность «1С:TMS Логистика. Управление перевозками» определяется следующим списком подсистем: управление нормативно-справочной информацией; управление потребностями в перевозке грузов; управление заданиями на перевозку грузов; автоматическое и ручное планирование маршрутов доставки; формирование рейсов; управление ресурсами для обеспечения рейсов; контроль за выполнением рейсов; управление тарифной политикой компании; управление взаимодействиями; управление доступом; получение аналитической отчетности; визуализация информации на электронных картах.

Как и любая поставляемая клиенту ИС данная система она постепенно совершенствуется, в неё вносится новый перечень возможностей и исправляются выявленные в процессе эксплуатации ошибки. В сфере логистики одним из бизнес-процессов в доставке грузов является прохождение таможни, где управляющим механизмом являются действующие правила прохождения таможенного контроля. Следовательно, изменения в правилах оформления и проверки документов могут требовать изменений и в ИС. Также в ИС для логистики, как и в ИС для других сфер деятельности, могут содержаться различные справочники и классификаторы.

Если внесение изменений в справочные объекты имеет массовый характер, то, например, обеспечение передачи данных из такой ИС в другую для дальнейшей обработки или создание нетипового отчёта являются частными случаями и могут быть выполнены по отдельному обращению организации – пользователя ИС.

Компания, разрабатывающая ИС, в том числе выполняющая локальные доработки по заказу конкретного клиента – организации, использующей в своей деятельности данную ИС, нуждается в автоматизации некоторых процессов в работе с заказчиками. Одним из таких процессов может быть сбор требований на расширение перечня функций ИС.

Данный процесс включает в себя несколько типовых шагов, одним из которых является интервьюирование представителя организации-заказчика для получения перечня основных требований, сформулированных на естественном языке [3]. В дополнение к используемым методикам может быть использован механизм формирования базы продукционных знаний с использованием методов аффинитивного анализа. База знаний будет пополняться по мере выполнения проектов – обращений организаций на изменение или дополнение функций ИС за счёт ручного ввода новых требований, а также в автоматизированном режиме.

Использование данного метода позволит хранить данные о выполненных ранее изменениях в ИС по схожим требованиям, следовательно, подбирать перечень дополнительных действий, встречавшихся в выполненных ранее проектах совместно с определёнными в рамках текущего обращения требованиями.

Описанный подход позволит проводить качественный анализ проблемы с внесением необходимых изменений в ИС путём раннего и всестороннего анализа предполагаемых ситуаций. Следствием этого будет являться сокращение времени обсуждения вопросов, возникающих в процессе подготовки технического задания на внесение

новых функций в ИС, как со стороны сотрудника фирмы-разработчика информационной системы «1С», так и со стороны заказчика (организации – пользователя).

Оперативно внесённые в ИС изменения могут способствовать сокращению временных затрат. Применительно к сфере логистики, своевременно разработанный по заказу организации отчёт по загруженности автопарка предприятия может позволить избежать очереди из заказов и нарушения сроков отправки груза.

Список литературы

1. Карпова Т.С. Разработка архитектуры системы автоматического формирования требований на разработку программного обеспечения / Т.С. Карпова, С.Ю. Малышева // VIII научно-практическая конференция с международным участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых»: сборник материалов конференции. Том I. – СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2020. – С. 182-185.

2. Покровская О.Д. Логистика: теория и практика. – Рига: LAP LAMBERT, 2020. – 103 с.

3. Катасонова Г.Р. Модель информационных процессов в виртуальных средах / Г.Р. Катасонова, Ю.С. Соломко, А.Д. Сотников, Е.В.Стригина // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2022). Сборник научных трудов XI Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х томах. Под. редакцией А.В. Шестакова, сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. Санкт-Петербург, 2022. С. 589-593.

4. Катасонова Г.Р. Анализ работы с данными на основе использования ресурсов информационного пространства / Г.Р. Катасонова, А.С. Шкрум // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021). сборник научных статей: в 4-х томах. Санкт-Петербург, 2021. С. 228-233.

5. Щетинина Г.Р. / Функции диагностирования и контроля в управленческих системах // Г.Р. Щетинина // В сборнике: Современные информационные технологии в науке, образовании и практике. материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). 2008. С. 393-394.

Анализ решений для облачного хранения данных

И. И. Кирпичёв, e-mail: kigor6782@gmail.com
М. В. Матвеева, e-mail: marie.matveeva@gmail.com

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Аннотация. *В работе рассматриваются решения для облачного хранения данных. В статье обсуждаются критерии выбора платформ для эффективного использовании облачных технологий.*

Ключевые слова: *Облачное хранилище, распределенные системы, программно-определяемая архитектура, веб-приложения, управление данными, облачные технологии, информационные системы.*

Введение

Современное развитие информационных технологий неминуемо влечет за собой рост объема данных из-за цифровизации бизнес-процессов, увеличения популярности IoT-устройств. Это требует использования надежных решений для хранения и обработки этих данных. Облачные технологии становятся ключевым инструментом, который обеспечивает непрерывный доступ, масштабируемость, гибкость, а также экономическую эффективность, которая достигается путем ускорения обработки данных и снижения затрат за содержание локальных серверов [1]. Рынок облачных хранилищ очень разнообразен, что влечет за собой необходимость тщательного анализа существующих решений, чтобы обеспечить выбор наилучшего решения для конкретных задач организации.

Сервисы облачного хранения данных, такие как «Yandex Object Storage», «Selectel», «Mail.ru Cloud Solutions» и «Timeweb Cloud», предоставляют широкую функциональность для управления данными. Эти хранилища обеспечивают масштабируемость и высокую надежность. Выбирая облачное хранилище необходимо учитывать следующие факторы: производительность, безопасность, стоимость, соответствие законодательным требованиям.

Цель работы – проанализировать существующие решения для облачного хранения данных, сравнить их основные характеристики, а также выявить преимущества и ограничения по сравнению с Amazon S3.

© Кирпичёв И. И., Матвеева М. В., 2025

Анализ сервисов облачного хранения данных

Облачные хранилища – технология, играющая ключевую роль в обработке и хранении больших объемов данных в условиях современного мира, за счет возможности экономии ресурсов, легкости масштабирования, надежности и удаленного доступа [2].

S3 (Simple Storage Service) – объектно-ориентированный облачный сервис хранения данных, разработанный Amazon Web Services (AWS) [3]. Он предназначен для хранения данных в масштабируемом виде и доступен через API. Принцип работы S3 основан на разделении данных на объекты, которые хранятся в контейнерах, называемых «бакетами». S3 поддерживает различные уровни хранения данных, например стандартный, редкий доступ, архивный.

IaaS (Information as a Service) – модель предоставления облачных услуг, где пользователю предоставляется инфраструктура, в которую входят виртуальные серверы, сетевые компоненты, хранилище данных. Такая модель ориентирована на возможность пользователя настраивать и управлять предоставленной ему инфраструктурой [4]. Это отличает IaaS от SaaS (Software as a Service) модели, предоставляющей уже готовое программное обеспечение, или PaaS (Platform as a Service), ориентированной на получение пользователем платформы для разработки приложений.

Описанные далее сервисы облачного хранения относятся к IaaS, так как предоставляют доступ к объектному хранилищу, где пользователь сам в праве определять политику доступа, контролировать масштабирование ресурсов, а также распределять хранилище по «бакетам» [5].

1. «Yandex Object Storage»

«Yandex Object Storage» – объектно-ориентированное хранилище с поддержкой S3 API [6]. Инфраструктура позволяет обеспечить высокую скорость передачи данных на территории России.

Преимущества:

– Высокая скорость передачи данных внутри России.
– Гибкая система тарифов.
– Поддержка S3 API.

Ограничения:

– Ограниченная доступность за пределами России.
– Сложность в интеграции с глобальными сервисами.

2. «Selectel»

«Selectel Object Storage» – сервис, ориентированный на корпоративных клиентов и предлагающий простую интеграцию с локальными системами, а также поддержку S3 API [7].

Преимущества:

– Высокий уровень отказоустойчивости.
– Поддержка аналитики и мониторинга.
– Гибкость в настройке для локальных IT-инфраструктур.

Ограничения:

– Менее развитая глобальная инфраструктура.
– Ограничения по доступу за пределами России.

3. «Mail.ru Cloud Solutions»

«Mail.ru Cloud Solutions» представляет собой облачное хранилище, ориентированное на решение задач бизнеса. Встроенные инструменты мониторинга дают возможность упростить процесс интеграции в корпоративные системы [8]. Поддерживает S3 API.

Преимущества:

– Удобные тарифы для долгосрочного хранения.
– Инструменты аналитики использования ресурсов.

Ограничения:

– Менее развитая инфраструктура за пределами России.
– Малая популярность среди международных компаний.

4. «Timeweb Cloud»

«Timeweb Cloud» – сервис, ориентированный на малый и средний бизнес, поддерживающий S3 API. Имеет широкий выбор тарифных планов [9].

Преимущества:

– Простота настройки.
– Оптимизация для небольших компаний.
– Конкурентные тарифы.

Ограничения:

– Меньшая функциональность по сравнению с лидерами рынка.
– Низкая глобальная доступность.

5. «Amazon S3»

Преимущества:

– Глобальная инфраструктура.
– Большой выбор инструментов для управления данными.
– Отказоустойчивость и безопасность.

Ограничения:

– Высокая стоимость для малого бизнеса.
– Сложность в освоении для новых пользователей.

Для удобства анализа решений была подготовлена табл. 1, в которой основные критерии сравнения, такие как скорость передачи данных, доступность, стоимость, поддержка S3 API и отказоустойчивость.

Таблица 2

Сравнение характеристик сервисов облачного хранения данных

	Yandex Object Storage	Selectel	Mail.ru Cloud Solutions	Timeweb Cloud	Amazon S3
Скорость передачи данных	+	+	+	+	+
Глобальная доступность	-	-	-	-	+
Стоимость	+	+/-	+	+	-
Отказоустойчивость	+	+/-	+/-	+	+
Интеграция с S3 API	+	+	+	+	+

Также для объективного сравнения сервисов необходимо ввести методологию, в которой будут учитываться как их технические, так и практические характеристики.

В качестве метрик были выбраны доступность, скорость передачи данных, масштабируемость, соответствие SLA и безопасность.

Доступность – свойство быть доступным и готовым к использованию по запросу авторизованного субъекта [1].

Из расчета количества минут в месяце можно сделать вывод, что доступность 99,9% равна 43,2 минуты в месяц, а 99,99% равна 4,32 минуты в месяц [1].

Соответствие SLA (Service Level Agreement) – это договоренность между поставщиком и клиентом, в котором описаны гарантированные уровни доступности, производительности и качества сервиса [2-3].

Можно сделать следующий вывод:

«Yandex Object Storage» отлично подходит для российского рынка из-за высокой скорости передачи данных, безопасности и гибкости тарифной сетки, однако имеет недостатки в международной поддержке.

«Selectel» является хорошим решением для локальных проектов благодаря высокой отказоустойчивости, но менее привлекателен для глобальных задач.

«Mail.ru Cloud Solutions» – удобен для малого и среднего бизнеса, имеющий простую интеграцию и доступные тарифы, но в то же время имеются ограничения в безопасности и масштабируемости.

«Timeweb Cloud» является оптимальным выбором для малого и среднего бизнеса благодаря доступным тарифам, а также простоте использования. Данный сервис менее эффективен, если требуется решение задач с высокими требованиями к глобальной доступности и большой функциональностью.

«Mail.ru Cloud Solutions» – удобен для малого и среднего бизнеса, имеющий простую интеграцию и доступные тарифы, но в то же время имеются ограничения в безопасности и масштабируемости.

«Timeweb Cloud» является оптимальным выбором для малого и среднего бизнеса благодаря доступным тарифам, а также простоте использования. Данный сервис менее эффективен, если требуется решение задач с высокими требованиями к глобальной доступности и большой функциональностью.

«Amazon S3» – лидер в сфере сервисов облачного хранения. Высокие доступность, безопасность и масштабируемость делают данное хранилище разумным выбором для больших компаний. Из недостатков можно выделить высокую стоимость.

Результаты сравнения приведены в рис. 1.

	Yandex Object Storage	Selectel	Mail.ru Cloud Solutions	Timeweb Cloud	Amazon S3
Доступность	99,9%	99,95%	99,9%	99,95%	99,99%
Скорость передачи данных	Высокая (Локально)	Средняя	Умеренная	Умеренная	Высокая (Глобально)
Масштабируемость	Высокая	Средняя	Средняя	Средняя	Очень высокая
Соответствие SLA	Гибкое	Высокое	Среднее	Среднее	Очень высокое
Безопасность	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя	Очень высокая

Рис. 2. Сравнение характеристик сервисов облачного хранения данных по метрикам

Интеграция с облачными сервисами – важный этап в модернизации инфраструктуры, позволяя компании повысить доступность к данным, а также уменьшить траты на поддержку оборудования.

На рис. 2 представлена диаграмма процесса интеграции S3.

Заключение

По итогам анализа можно прийти к выводу, что выбор сервиса облачного хранения зависит во многом от специфики поставленных задач. Для задач малого и среднего бизнеса, а также локальных проектов подходят «Selectel» и «Timeweb Cloud», а для глобальных задач лучшим выбором станут «Yandex Object Storage» и «Amazon S3».

Перспективы облачных технологий включают в себя рост популярности гибридных решений, сочетающих в себе локальные и облачные ресурсы, а также автоматизацию систем управления данными, что позволит компаниям повысить операционную эффективность. Также это открывает больше возможностей для интеграции локальных систем с такими платформами, как S3.

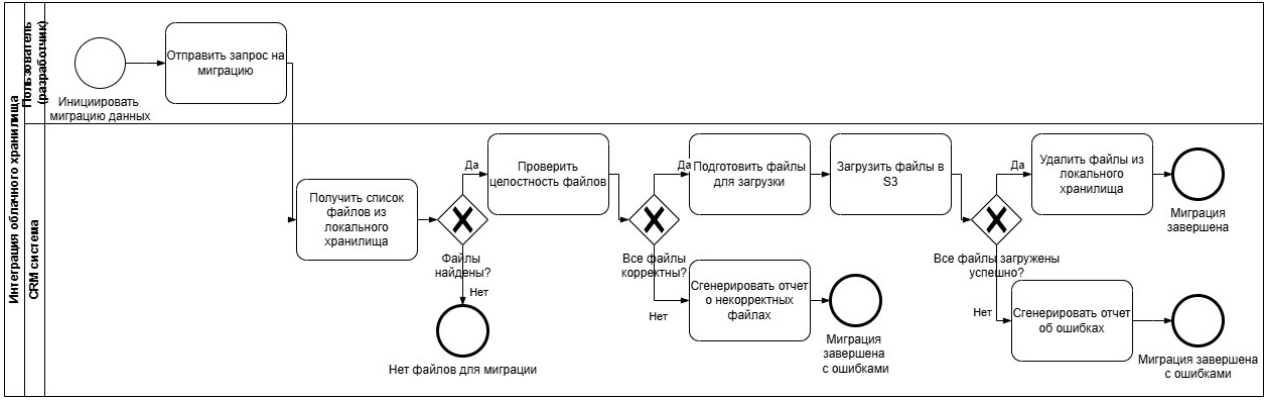


Рис. 3. Процесс перехода с локального хранилища на S3

Список литературы

1. ГОСТ ISO/IEC 17788-2016. Информационные технологии. Облачные вычисления. Общие положения и терминология. – М.: Стандартинформ, 2016. – 28 с.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2010. Информационные технологии. Управление услугами. Часть 1. Требования к системе управления услугами. – М.: Стандартинформ, 2010. – 26 с.

3. Amazon Web Services. Service Level Agreement. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aws.amazon.com/legal/service-level-agreements/ (дата обращения: 11.01.2025).

4. Kavis M. J. Architecting the Cloud: Design Decisions for Cloud Computing Service Models. – Wiley, 2014. – 224 с.

5. Rhoton J. Cloud Computing Explained: Implementation Handbook for Enterprises. – Recursive Press, 2010. – 332 с.

6. Yandex Object Storage. Документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cloud.yandex.ru/docs/storage/ (дата обращения: 11.01.2025).

7. Selectel Object Storage. Документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://selectel.ru/services/object-storage/ (дата обращения: 11.01.2025).

8. Mail.ru Cloud Solutions. Документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mcs.mail.ru/solutions/cloud-storage/ (дата обращения: 11.01.2025).

9. Timeweb Cloud. Облачное хранилище. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://timeweb.cloud/services/object-storage/ (дата обращения: 11.01.2025).

Разработка сервиса анонимного голосования для образовательной платформы LMS Moodle

В. В. Малышев, email: v.inc@inbox.ru[4]
А. П. Толстобров, email: tap@vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Разработан новый сервис к LMS Moodl, позволяющий реализовать процедуру голосования с обеспечением полной анонимности участников голосования Реализован алгоритм хеширования данных, обеспечивающий анонимность, описан процесс организации процедуры голосования и участия пользователей в голосовании.*

Ключевые слова: *анонимное голосование, хеширование данных, безопасность данных.*

Введение

Среди большого числа сервисов популярной платформы онлайн-обучения Moodle имеется сервис, позволяющий реализовывать процедуры электронного голосования пользователей портала по тем или иным вопросам. Однако, его принципиальным недостатком является то, что в нем не обеспечивается полной анонимности лиц, принимающих участие в голосовании, по крайней мере для пользователей с правами администратора системы. В данной работе ставится задача реализации встраиваемых в LMS Moodle программных средств, обеспечивающих гарантию такой анонимности участников голосования.

Модульная архитектура и открытый программный код LMS Moodle, позволяет разрабатывать пользовательские плагины, которые содержат в себе дополнительные функции, не предусмотренные в стандартной дистрибуции системы, встраиваемые в систему без какого-либо вмешательства в программный код ядра этой системы. И в данной работе выбран именно такой подход реализации самостоятельного программного модуля-плагина, реализующего весь необходимый для реализации процедуры электронного голосования функционал с обеспечением полной анонимности голосования для пользователей портала с любым набором прав, включая права администратора системы. Наличие такого инструмента позволит существенно расширить возможности портала для эффективного сбора мнений студентов и преподавателей по различным вопросам, реализации

© Малышев В. В., Толстобров А. П., 2025

легитимных выборных процедур в электронной среде, принятия ответственных коллективных решений, обеспечивая при этом конфиденциальность и защиту персональных данных данных участников голосования.

1. Проблемы с обеспечением анонимности участников в существующих плагинах LMS Modle

Существующие в Moodle плагины, такие как «Обратная связь», «Опрос» и «Анкетирование», предоставляют разнообразные возможности для сбора и анализа данных, что делает их ценными инструментами для преподавателей и администраторов.

Сравнение функционала этих модулей представлено в таблице.

Таблица

Сравнение функционала модулей

Функционал	Обратная связь	Опрос	Анкетирование	Тайное голосование
Создание персонализированных вопросов	+	-	+	+
Готовые шаблоны вопросов	+	+	-	+
Поддержка вопросов без оценок	+	-	+	+
Графическое отображение ответов	+	-	+	+
Экспорт данных в электронные таблицы или PDF	+	-	+	+
Поддержка различных типов вопросов	-	-	+	-
Отправка отчетов по электронной почте	-	-	+	+
Отображение нешифрованных результатов в БД	+	+	+	-
Анализ вовлеченности	-	+	-	-

Модуль «Обратная связь» позволяет создавать персонализированные вопросы, что особенно полезно для оценки курса или преподавателя, а также для сбора информации о различных аспектах учебного процесса. Его гибкость в разработке вопросов и поддержка вопросов без оценок делает его уникальным по сравнению с другими инструментами [1].

Модуль «Опрос» предлагает готовые шаблоны, такие как «Критические инциденты» и COLLES, которые помогают анализировать учебную среду и вовлеченность студентов, что делает его полезным для диагностики и улучшения образовательного процесса [2].

Модуль «Анкетирование» предоставляет широкие возможности для создания различных типов вопросов и экспорта данных в различные форматы, что облегчает анализ и распространение собранной информации. Он также поддерживает отправку отчетов по электронной почте, что упрощает доступ к данным для различных ролей и пользователей [3].

Несмотря на заявленные возможности сбора анонимных ответов в образовательной системе Moodle, важно отметить, что ни один из встроенных модулей не является полностью анонимным, если есть доступ к базе данных пользователя портала с определенными правами. Администраторы и пользователи с соответствующими аналогичными правами могут получить доступ к индивидуальным ответам участников через базу данных с раскрытием персональных данных конкретных участников голосования и результатам их выбора при голосовании. Это означает, что даже если опрос или анкета настроены на сбор анонимных ответов, администраторы портала все равно могут идентифицировать ответы конкретных участников. В ряде случаев это может быть критически важным для обеспечения легитимности результатов голосования в электронной форме. Например, результатов голосования выборов работников на определенные должности, которое по процедуре должно быть "тайным".

2. Обеспечение анонимности данных пользователей с помощью алгоритмов хеширования

Хеш (hash) – это строка фиксированной длины, которая создаётся из исходных данных с помощью хеш-функции. Берётся текст, преобразуется с помощью хеш-функции, в результате чего на выходе получается новая строка фиксированной длины, уникальная для каждого входного набора данных, особенностью которой является невозможность восстановления соответствующих ей исходных данных.

Хеш-функция – это математическая часть алгоритма хеширования, которая использует операции циклического сдвига, побитовых

преобразований, сложения по модулю и логических операций И, ИЛИ и НЕ. Эти операции комбинируются так, чтобы результат был максимально запутанным, необратимым и чувствительным к любым изменениям во входных данных [4].

Для обеспечения анонимности в разрабатываемом модуле «Тайное голосование» был рассмотрен алгоритм SHA-1 (Secure Hash Algorithm 1). Алгоритм SHA-1 реализует хеш-функцию, построенную на идее функции сжатия [5] рис. 1. Входами функции сжатия являются блок сообщения длиной 512 бит и выход предыдущего блока сообщения. Выход представляет собой значение всех хеш-блоков до этого момента. Один хеш-блок рассчитывается с помощью формулы (1).

$$M_i = h_i = f\left(M_i, h_{i-1}\right) \tag{1}$$

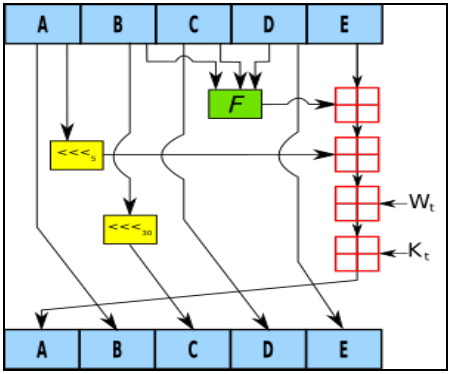


Рис. 1. Принцип работы алгоритма SHA-1

Исходное сообщение делится на фрагменты по 512 бит каждый. К последнему фрагменту добавляются дополнительные биты для достижения длины, кратной 512 битам. Вначале добавляется один бит, после чего добавляются нули, чтобы длина фрагмента составила 448 бит (512 минус 64). В оставшиеся 64 бита записывается длина исходного сообщения в битах в формате big-endian.

В ходе разработки модуля «Тайное голосование» было решено заменить алгоритм SHA-1 на SHA-256. Это решение основывалось на нескольких важных причинах.

Во-первых, выяснилось, что алгоритм SHA-1 признан устаревшим и уязвимым к различным атакам, включая коллизионные, что ставит под сомнение обеспечения безопасности данных. В то время как алгоритм SHA-256 предоставляет более высокий уровень безопасности благодаря

своей криптографической стойкости и большей длине хеша, что делает его значительно более устойчивым к потенциальным атакам.

Во-вторых, SHA-256 обеспечивает лучшую совместимость с другими системами и протоколами безопасности, поскольку это более современный и распространенный стандарт. Это позволяет интегрировать модуль «Тайное голосование» в большее количество образовательных платформ и систем, сохраняя при этом конфиденциальность и безопасность данных участников голосования.

Алгоритм производит операции с информацией, разбитой на блоки по 64 байта. Далее производится криптографическое «смешивание» данных. Результатом является 256-битный хеш-код. Алгоритм повторяет действия над информацией ровно 64 раза [6]. Итерация алгоритма приведена на рис. 2.

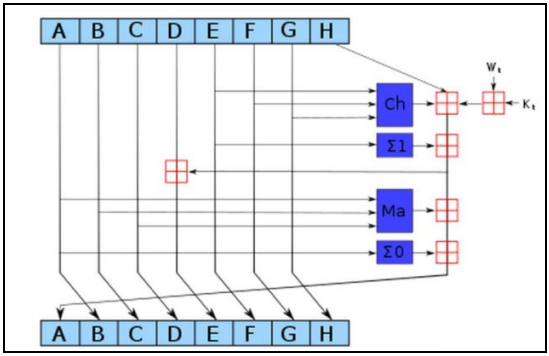


Рис. 2. Принцип работы алгоритма SHA-256

Процесс хеширования в модуле «Тайное голосование» начинается с получения данных пользователя, таких как идентификатор пользователя и его голос (выбор при голосовании).

Эти данные затем проходят через алгоритм SHA-256, который преобразует их в уникальную строку фиксированной длины.

Важно отметить, что хеш-функция SHA-256 является необратимой, что означает, что исходные данные не могут быть восстановлены из хеша. Это обеспечивает анонимность участников голосования, так как их личные данные не могут быть идентифицированы на основе хеша.

Листинг 1

Шаги применения алгоритма SHA-256

```
// Получение данных пользователя из формы
$choice = required_param('choice', PARAM_INT); // Выбранный
вариант ответа
```

```
$userid = $USER->id; // Идентификатор пользователя
// Конкатенация данных
$data = $userid . $choice;
// Хеширование данных с использованием SHA-256
$hashedData = hash('sha256', $data);
// Сохранение хеша в базе данных
global $DB;
$record = new stdClass();
$record->secretchoiceid = $secretchoice->id; // Идентификатор
голосования
$record->userid = $userid;
$record->choice = $hashedData;
$DB->insert_record('secretchoice_answers', $record);
```

Сначала данные пользователя конкатенируются в одну строку. Затем эта строка проходит через несколько преобразований, включающих циклические сдвиги, побитовые преобразования и логические операции. В результате этих преобразований получается хеш фиксированной длины, который сохраняется в базе данных вместе с голосом пользователя.

Процесс участия в голосовании начинается с выбора участником одного из вариантов ответов на вопрос. После выбора варианта ответа, выбранный ответ хешируется. Интерфейс голосующего пользователя и хешированные результаты опроса в базе данных Moodle показаны, соответственно на рис. 3 и 4.

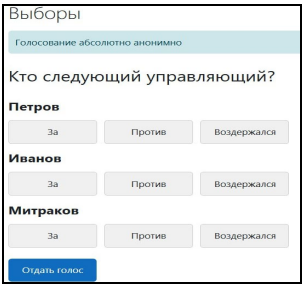


Рис. 3. Страница голосования

optionid_hash	userid_hash
cb4e5208b4cd87268b208e49452ed6…	
972a67c48192728a34979d9a35164c…	
fc074d501302eb2b93e2554793fcaf…	da4b9237bacccdf19c0760cab7aec4a83…
af3e133428b9e25c55bc59fe534248…	da4b9237bacccdf19c0760cab7aec4a83…
0286dd552c9bea9a69ecb3759e7b94…	da4b9237bacccdf19c0760cab7aec4a83…

Рис. 4. Хешированные результаты голосования в базе данных

Заключение

Анализ существующих плагинов, таких как «Обратная связь», «Опрос» и «Анкетирование», показал, что они предоставляют широкие возможности для сбора и анализа данных, но не обеспечивают анонимность участников голосования. Это стало основной причиной для разработки нового плагина, который бы гарантировал конфиденциальность и защиту данных участников голосования.

Разработка модуля «Тайное голосование» включала создание механизм создания в электронном курсе элемента (activity) и панели администрирования. Основные компоненты модуля были реализованы с использованием стандартных механизмов Moodle, таких как формы создания и редактирования модулей курса, а также функции для сохранения и обработки данных. Важным аспектом стало хеширование данных пользователей с помощью алгоритма SHA-256, что создало высокую степень анонимности участников и результатов голосования.

Список литературы

1. Moodle // Feedback module [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.moodle.org/38/en/Using_Feedback
2. Moodle // Survey module [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.moodle.org/403/en/Survey_activity
3. Moodle // Questionnaire module [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.moodle.org/405/en/Questionnaire_module
4. Журнал «Код» // Хеширование: полное руководство [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://thecode.media/heshirovanie-polnoe-rukovodstvo/
5. Рувики // SHA-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.ruwiki.ru/wiki/SHA-1
6. Bitcoin wiki // SHA-256 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://en.bitcoinwiki.org/wiki/SHA-256

Оценивание качества электронных курсов в LMS Moodle

А. П. Толстобров, email: tap@vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Рассматривается задача формирования системы измеряемых показателей, позволяющих оценивать качество электронных курсов, созданных в образовательном портале на платформе системы управления обучением (LMS) Moodle, путем анализа статистики цифровых следов, оставляемых участниками электронных курсов в базе данных LMS.*

Ключевые слова: *электронное обучение, электронные курсы, оценивание качества курсов, измеряемые показатели качества курса, система управления обучением, LMS, Moodle.*

Введение

Все более широкое распространение электронного обучения определяет важность и актуальность проблемы обеспечения качества электронных курсов. И, соответственно, актуальность разработки критериев и средств объективной оценки качества электронных курсов, определения измеряемых характеристик их качества, как педагогического инструмента [1-6].

В работе [7] автором были рассмотрены практически реализованные предложения по формированию системы измеряемых показателей-индикаторов, которые на наш взгляд отражают качество, созданного в среде LMS Moodle [8] электронного курса, как инструмента повышения эффективности образовательного процесса.

Предметом настоящей работы является рассмотрение факторов, выявленных при практической апробации реализованного в [7] решения, которые в определенных ситуациях оказывали влияние на корректность оценок реальных показателей востребованности учебных элементов электронного курса, и предлагаемый подход к их устранению.

1. Проблемы, выявленные при использовании решения, рассматриваемого в [1]

Измерение предлагаемых в [7] количественных показателей, отражающих качество электронного курса, как педагогического инструмента, основывалось на анализе цифровых следов, оставляемых

© А. П. Толстобров, 2025

участниками электронного курса в базе данных LMS в процессе освоения ими программы изучаемой дисциплины.

В основу предлагаемого в [7] подхода оценивания качества электронного курса были положены следующие утверждения.

Уровень реализации (качество) электронного курса, как педагогического инструмента, проявляется не столько в том, какими и в каком количестве этот курс наполнен элементами, потенциально позволяющими реализовывать те или иные виды учебной деятельности. В гораздо в большей степени оно проявляется в том, насколько педагогическое предназначение элементов курса фактически реализуется в реальном образовательном процессе. На наш взгляд, об этом достаточно достоверно можно судить по тому, насколько работа с элементами курса оказывается реально востребованной участниками курса, проходящими по нему обучение.

По своему педагогическому назначению элементы курса предусматривают совершения разных видов деятельности участниками курса (обучающимися и преподавателями), востребованность которых может оцениваться по разным следам, оставляемым обучающимися в базе данных системы.

В [1], в частности, о полезности (бесполезности) присутствия в курсе Так называемые информационные элементы курса, типов Файл, Html-страница, Html-страница и т. п., предназначены для предоставления обучающимся той или иной учебно-методической информации, которая, по мнению автора курса, необходима для освоения обучающимися программы учебной дисциплины. Работа обучающихся с такого рода элементами курса не предусматривает, кроме ознакомления с их содержанием, выполнения ими каких-либо иных действий, в том числе требующих оценивания преподавателем. Поэтому об их востребованности обучающимися в [7] предлагается судить по количеству реальных обращений участников курса к таким элементам.

Более продвинутые элементы курса, такие как Тест, Задание, Семинар и др., предназначены для реализации учебной деятельности участников курса по выполнению в офлайн или онлайн режиме задаваемых преподавателем заданий, результаты которых представляются в портале [8, 9] в электронном виде, и, что главное, которые требуют обязательного оценивания результатов их выполнения преподавателем. В [7] предлагается судить об обоснованности их присутствия в курсе по фактическому количеству обучающихся, получивших оценки в такого рода элементе.

Такого рода количественная информация, позволяющая оценивать и сравнивать реальную востребованность наполняющих курс элементов, может быть получена с помощью соответствующих запросов к базе данных LMS Moodle [7].

Учитывая разный количественный состав участников разных курсов, для того, чтобы можно было корректно сравнивать для них такого рода количественные данные, в [7] предлагалось нормировать абсолютные значения статистики для конкретных элементов курса на общее количество участников соответствующего курса.

Изложенный и реализованный в [7] подход позволил достаточно успешно решать задачу ранжирования создаваемых и используемых преподавателями университета электронных курсов по уровню их способности служить качественной поддержкой учебного процесса по соответствующим образовательным программам.

И, тем не менее, практическая апробация реализованного решения выявила факторы, которые в определенных ситуациях искажали корректность отражения получаемыми статистическими данными реальных качественных показателей качества электронных курсов и наполняющих их учебных элементов.

Дело в том, что предложенное в [7] нормирование количественных характеристик востребованности конкретных элементов курса на общее количество обучающихся участников курса, неявно подразумевает, что каждый элемент, включенный в курс его автором, потенциально предназначен для использования всеми участниками, обучающимися в данном курсе.

Однако, на самом деле, для конкретных элементов электронного курса дело может обстоять по-другому. Многие курсы могут быть предназначены для поддержки не одной, а нескольких близких по содержанию дисциплин учебных планов разных направлений подготовки и форм обучения, но отличающихся в тех или иных деталях. Вследствие этого, или, возможно, по каким-либо иным причинам, преподаватель может включать в курс отдельные элементы курса, предназначенные не для всех участников курса, а конкретными группами обучающихся.

Средства управления доступом пользователей системы Moodle позволяют преподавателю реализовывать такого рода разграничение доступа своих подопечных к учебным элементам курса.

В таких случаях нормирование измеренных характеристик востребованности таких элементов на общее количество участников курса, очевидно будет сильно искажать оценку реальной их

востребованности в курсе именно тем контингентом обучающихся, для которых они предназначены.

Пример другой выявленной ситуации, приводящей к возможной некорректной оценке востребованности элемента курса связан с особенностями реализации в LMS Moodle фиксирования и обработки информации об оценках, выставляемых испытуемым при выполнении заданий в тестовой форме.

Дело в том, что формирование оценки за выполнение испытуемым теста всегда сопровождается фиксированием в соответствующей таблице Moodle, а именно, таблице moodle.mdl_quiz_grades, момента времени (поле timemodified), в который происходит изменение значения этой оценки. В связи с этим, в подходе, представленном в [7], для определения количества участников курса, выполнивших конкретный тест, использовался подсчет количества участников курса, получивших отметку об оценке в таблице moodle.mdl_quiz_grades в обозначенный выбранный период анализа данных.

При этом, однако, не было учтено не вполне очевидное на первый взгляд обстоятельство, состоящее в том, что значение оценки испытуемых, отражаемое в таблице moodle.mdl_quiz_grades, и, соответственно, времени обновления значения в поле timemodified, может происходить не только при выполнении теста испытуемым, но также и при изменении автором курса настроек этого теста, касающихся его оценок, например, изменения значения максимального балла, проходного-зачетного балла. В этом случае в LMS запускается процесс пересчета оценок у всех участников курса в соответствии с измененными настройками теста. В том числе и для тех пользователей, которые когда-либо ранее выполняли этот тест в предыдущие учебные периоды. И по этой причине у них у всех значение поля timemodified будет заменено на момент пересчета оценок в связи с изменившимися настройками теста. Как следствие этого обстоятельства, фильтрация выполнявших тест испытуемых, по установленному периоду анализа (значению поля timemodified таблицы moodle.mdl_quiz_grades) может приводить к «неожиданному» результату. А именно, в такую выборку могут попасть оценки не только текущих участников курса, а уже всех тех, которые когда-либо ранее выполняли данный тест. Заметим, что поиск причины получения в таком случае совершенно неожиданных и некорректных значений количества испытуемых, получивших оценку в таком тесте, оказывается далеко не простой задачей.

2. Предлагаемые решения

Решения, предлагаемые в данной работе для устранения обозначенных выше проблем, основываются на изменении акцентов в

формулировании самой задачи создания средств для получения объективных количественных характеристик, отражающих качество электронного курса, как педагогического инструмента.

Формулировка задачи, на которой основывались рассмотренные выше и в [7] решения, делала акцент на получении измеряемых характеристик востребованности элементов электронного курса его участниками без учета их принадлежности к контингентам поддерживаемых курсом учебных дисциплин и, тем более, к конкретным группам участников.

В данной работе, в уточненной формулировке задачи, акцент оценивания качества курса переносится на то, насколько конкретные элементы курса являются востребованными его участниками, ассоциированными уже с конкретными дисциплинами образовательных программ и группами, для поддержки которых используется данный электронный курс.

Другими словами, уточнение формулировки задачи определения характеристик качества электронного курса состоит в том, насколько конкретные учебные элементы курса обеспечивают эффективную поддержку конкретных дисциплин и групп обучающихся.

Это уточнение принципиально изменяет алгоритм измерения характеристик востребованности элементов курса. Новый алгоритм теперь включает в себя следующие пункты.

– Путем запросов к таблицам базы данных образовательного портала ВГУ [9], связанных с базами данных ИС учебных планов и контингента студентов, для каждой дисциплины образовательных программ, с которыми связан данный электронный курс, и для соответствующих академических групп формируются списки участников электронного курса, для которых, собственно, потенциально могут быть предназначены конкретные учебные элементы электронного курса.

– Из таблиц базы данных портала для каждого элемента курса информационного типа определяется список участников курса, которые обращались к такому элементу и количество обращений к элементу каждого такого участника.

– Для каждого элемента оцениваемого типа показательным является не просто обращение к элементу, а получение оценки за выполнение определяемого этим элементов задания. Для такого рода элементов курса соответствующими запросами выбираются списки участников курса, получивших в них оценки.

– Далее, списки участников курса по дисциплинам и группам, для которых предназначены наполняющие курс учебные элементы, которые

по определению должны использовать ресурсы курса для изучения конкретной дисциплины, сопоставляются со списками участников курса, обращавшихся к конкретным информационным элементам курса или получивших оценки в конкретных оцениваемых элементах.

– Теперь, на основании этих данных, для каждого элемента курса определяется, кто из списка участников курса, которые должны изучать конкретную дисциплину, или которые являются членами конкретной академической группы, действительно работали с этим элементом (обращались, сколько раз или получили оценку).

Таким образом, характеристики реальной востребованности элементов курса теперь определяются не по отношению ко всему контингенту участников курса, а в разрезе связанных с курсом конкретных дисциплин и академических групп обучающихся.

Например, если преподаватель ограничил доступ к конкретному элементу курса членами группы студентов конкретной образовательной программы, то список студентов, реально отработавших с данным элементом, будет сопоставляться уже не со всеми участниками курса, а только с теми студентами, для которых этот элемент был предназначен преподавателем курса.

Для выборки из базы данных университетского образовательного портала [9] описанных выше цифровых следов деятельности студентов был разработан соответствующий SQL-запрос, включающий в себя более 500 строк и обращающийся к следующим 25-ти таблицам базы данных LMS Moodle [8]:

```
 moodle.mdl_logstore_standard_log,
 moodle.mdl_resource,
 moodle.mdl_book,
 moodle.mdl_page,
 moodle.mdl_url,
 moodle.mdl_scorm,
 moodle.mdl_lanebs,
 moodle.mdl_user,
 moodle.mdl_user_info_data,
 moodle.mdl_block_vsucourse_new,
 moodle.mdl_assign,
 moodle.mdl_assign_grades,
 moodle.mdl_workshop,
 moodle.mdl_workshop_submissions,
 moodle.mdl_lesson,
 moodle.mdl_lesson_grades,
 moodle.mdl_forum,
 moodle.mdl_forum_grades,
 moodle.mdl_game,
 moodle.mdl_game_grades,
 moodle.mdl_quiz,
 moodle.mdl_quiz_grades,
```

```
moodle.mdl_quiz_attempts,
moodle.mdl_question_attempts,
moodle.mdl_question.
```

Разработаны различные модификации SQL-запроса, отличающиеся разными уровнями агрегирования выходных данных. От информации о работе с конкретным элементом конкретного курса конкретных студентов – кто из списка студентов, для которых предназначен элемент курса, реально работал с этим элементом, обращался к нему, сколько раз обращался, получил оценку за выполнение задаваемого элементом задания. До обобщенной информации уже по всем электронным курсам портала об усредненных значениях показателей востребованности типов учебных элементов курсов.

Заключение

Реализованные SQL-запросы к базе данных образовательного портала «Электронный университет ВГУ» [9] позволяют получить следующую первичную и аналитическую информацию о реальной востребованности и обоснованности присутствия в электронных курсах учебных элементов его курсов для поддержки образовательного процесса по дисциплинам образовательных программ с дифференциацией по академическим группа студентов.

– Кто именно из списка студентов, для которых предназначен учебный элемент курса реально для работал с этим элементом – обращался к элементу, сколько раз, получил оценку за выполнение задаваемого элементом задания.

– Для каждого учебного элемента курса получать процент участников курса, которые действительно работали с элементом, относительно тех, которым этот элемент предназначался преподавателем.

– Процент участников, реально работавших с элементами курса, усредненный по всем элементам каждого типа конкретного типа элементов.

– Средний процент участников курса, реально работавшим со всеми элементами информационных типов и элементов типов с оценками.

– Наконец, сводная информация по всем электронным учебным курсам университета о количестве наполняющих их учебными элементами и усредненных характеристиках их реальной востребованности.

Доступность такого рода информации для преподавателей, являющихся авторами электронных курсов, делает «прозрачной» картину реальной работы элементов их курсов по поддержке учебных

дисциплин, для которых данный курс предназначен. Тем самым, задавая направление совершенствования методического наполнения и использования курса.

Для административных служб университета, ответственным за управление образовательным процессом вуза, сводная информация о реальной работе электронных курсов по поддержке дисциплин образовательных программ оказывается важным средством получения важной обратной связи при решении задач развития электронной составляющей образовательного процесса в масштабах кафедр, факультетов и университета в целом.

Список литературы

1. Панькина Е. В., Черчик И. В. Оценка качества электронного учебного курса как необходимое условие современного обучения. Профессиональное образование в России и за рубежом. – Режим доступа: https://elibrary. ru/item.asp?id=45688387. – (Дата обращения: 19.01.2025).
2. Шалкина Т. Н. Показатели и критерии качества электронного учебного курса. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/ pokazateli-i-kriterii-kachestva-elektronnogo-uchebnogo-kursa/viewer. – (Дата обращения: 19.01.2025).
3. Андреев А. А. Оценка качества онлайн курсов // Территория науки. – 2015. – № 1. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/ otsenka-kachestva-onlayn-kursov/viewer
4. Толстобров А. П. Электронное обучение в университете: состояние и проблемы / А. П. Толстобров // Вестник Воронеж. гос. ун- та. Сер. Проблемы высшего образования. – 2019. – № 4. – С. 71–75.
5. Как определить качество онлайн-курса и создать собственную систему оценки образовательного продукта на основе данных. Нетология. 8 нояб. 2021 г. – Режим доступа: https://netology.ru/blog/11-2021-kachestvo-online-kursov. – (Дата обращения: 19.01.2025).
6. Литвинова М. Как оценить эффективность онлайн-курса. – Режим доступа: https://skillbox.ru/media/education/kak-otsenit-effektivnost-onlaynkursa/. – (Дата обращения: 19.01.2025).
7. Толстобров А. П. Формирование системы показателей для оценивания качества электронных курсов в LMS MOODLE / А. П. Толстобров // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : Системный анализ и информационные технологии Воронеж, 2024 № 2. – С. 123-139 ISSN 1995-5499
8. LMS Moodle. – Режим доступа: https:// moodle.org. – (Дата обращения: 19.01.2025).
9. «Электронный университет ВГУ». – Режим доступа: http://edu.vsu.ru. – (Дата обращения: 19.01.2025).

Секция 5
Прикладное моделирование и E-business

Application of machine learning models, optimization tasks and algorithms to design Intelligent Information Systems

M. H. Nguyen, email: hieuminh735@gmail.com
T.V. Pavlovich, email: tv_pavlovich@mail.ru

MIREA – Russian Technological University

Аннотация. *The article highlights the importance of warehouse logistics management in enhancing operational efficiency. It models logistics stages using BPMN and evaluates machine learning methods, combinatorial optimization tasks, and algorithms. This approach minimizes costs and improves supply network efficiency.*

Ключевые слова: *BPMN, ML, Dijkstra's algorithm, TSP, Held-Karp algorithm, Linear Regression, Random Forest Regression.*

Introduction

Warehouse logistics management is crucial for retail companies, ensuring product quality and operational efficiency. Key stages—receiving, storage, and shipping—contribute significantly to the supply chain by guaranteeing quality, optimizing inventory, and ensuring timely deliveries. Modern logistics requires automation and data-driven methods for accurate forecasting and optimization [1].

Machine learning models improve demand forecasting and inventory management, while optimization algorithms enhance efficiency by optimizing routes and processes. This study explores the use of linear regression, random forest models, and optimization techniques such as the Traveling Salesman Problem (TSP), Dijkstra's and Held-Karp algorithms to improve warehouse logistics by forecasting demand and determining optimal supply routes [2].

1. Relevance of warehouse logistics management automation

In a competitive and fast-changing market, effective warehouse logistics management is crucial for success. Traditional methods lack the speed and accuracy needed, resulting in delays, errors, and inefficiencies. To address these challenges, machine learning, combinatorial optimization problems, and optimization algorithms offer innovative solutions to automate processes and enhance efficiency.

Machine learning models, like regression, analyze historical sales data, seasonal factors, and holidays to forecast supply needs, optimize inventory

© Nguyen M. H., Pavlovich T. V., 2025

levels, and prevent shortages or surpluses. Combinatorial optimization problems and route optimization algorithms identify cost-effective delivery paths, reducing time and costs. By automating with these technologies, businesses can enhance accuracy, cut costs, and boost competitiveness [3].

Characteristics of warehouse logistics management process.

The central warehouse is pivotal in coordinating the flow of goods from suppliers to stores, handling receiving, storage, and shipping. The management center oversees strategic operations such as stock reporting, route optimization, and adapting to demand changes, while the purchasing department ensures timely goods delivery from suppliers to the central warehouse based on retail store needs (figure 1).

Retail stores manage receiving, storing, and selling goods, maintaining inventory in their store warehouses, generating stock reports, serving customers, and meeting sales targets. Effective warehouse management ensures rapid and accurate dispatch of goods to meet store demands.

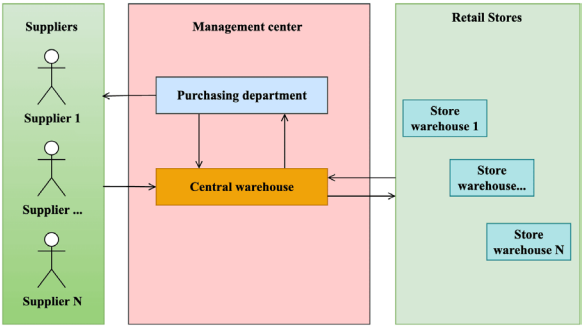


Fig. 1. Conceptual diagram of warehouse logistics operations

2. Proposed business model for improving warehouse logistics management efficiency

The proposed model addresses current challenges and enhances efficiency by incorporating automated warehouse logistics systems, precise tracking technologies, and timely delivery mechanisms, developed using BPMN 2.0 notation. A key focus is on flexible inventory management, enabling quick responses to customer demand, cost reduction, and maintaining optimal stock levels.

Objective: Automating warehouse logistics management to reduce inventory and logistics costs.

To achieve the set goal, the following tasks were defined:

Improving inventory monitoring using precise tracking systems to prevent overstocking and shortages.

Forecasting supply needs based on sales history using machine learning for accurate planning of goods deliveries.

Optimize delivery routes to and from the central warehouse using the TSP and algorithms like Dijkstra's and Held-Karp.

Creating a standard reporting system that is generated on the fly in real-time, with data visualization.

Figure 2 shows the BPMN 2.0 diagram of the new execution technology, detailing warehouse logistics and supporting sustainable development through retail automation.

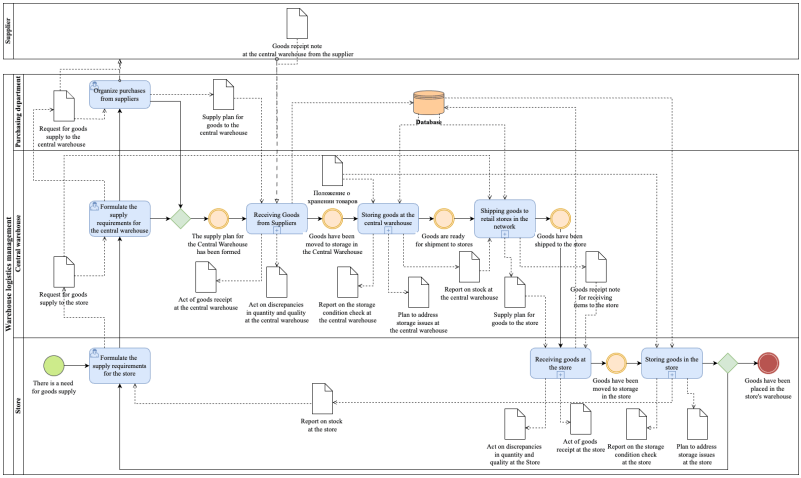


Fig. 2. Business process diagram of warehouse logistics management

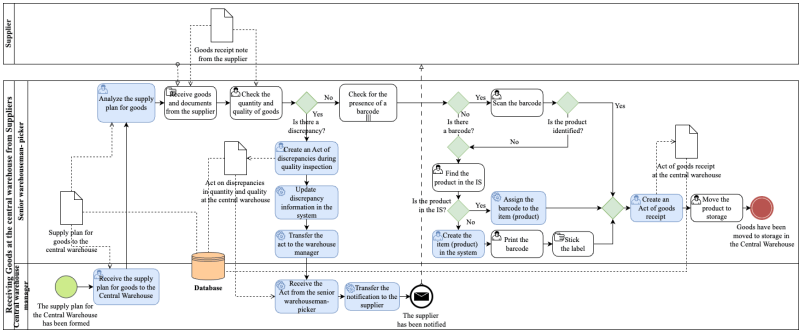


Fig. 3. Subprocess "Receiving goods at the central warehouse from Suppliers"

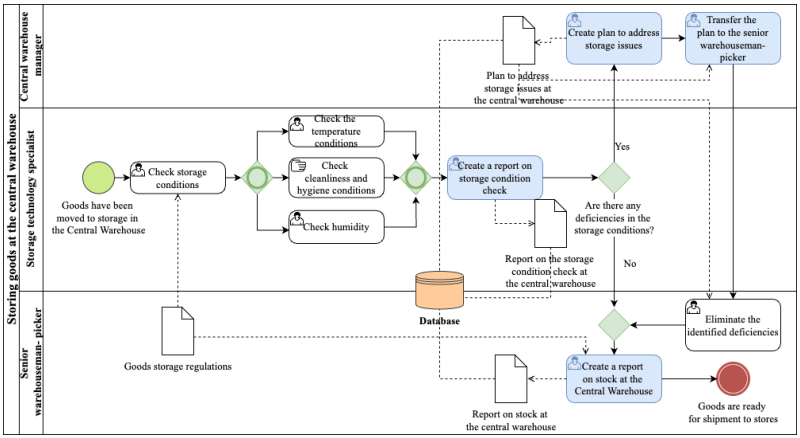


Fig. 4. Subprocess "Storing goods at the central warehouse"

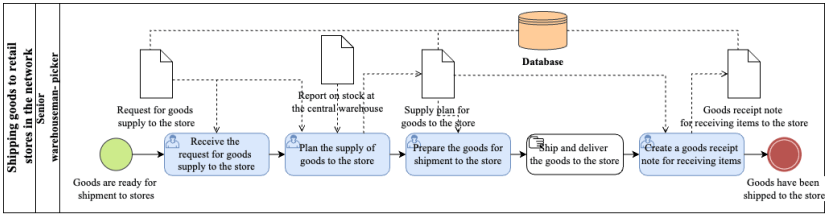


Fig. 5. Subprocess "Shipping goods to retail stores in the network"

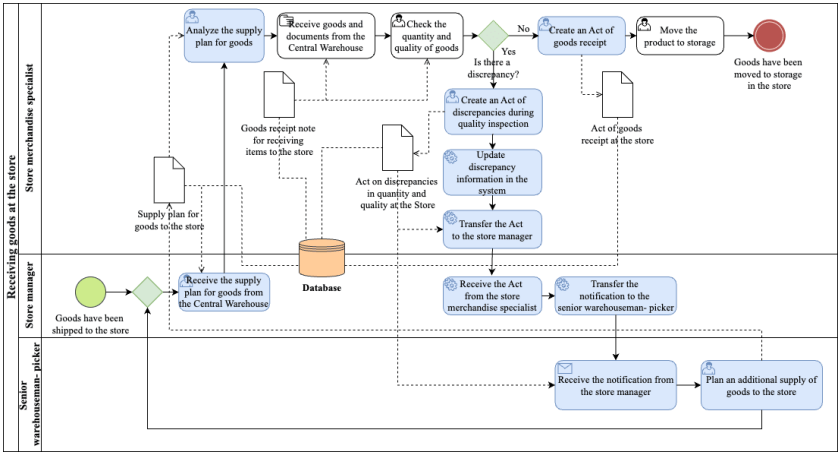


Fig. 6. Subprocess "Receiving goods at the store"

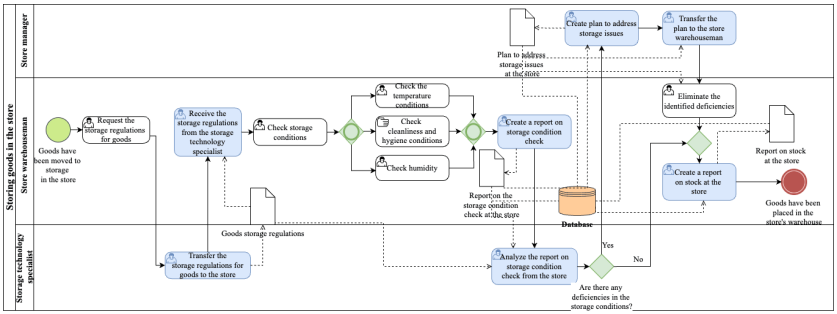


Fig. 7. Subprocess "Storing goods in the store"

Figures 3 to 7 illustrate the decomposition of key warehouse logistics processes: Figure 3 focuses on "Receiving goods at the central warehouse from suppliers", figure 4 covers "Storage of goods at the central warehouse", figure 5 details "Shipping goods to retail stores in the network", figure 6 presents "Receiving goods at the store" and figure 7 explains "Storing goods in the store".

The business model defines key roles, including the central warehouse manager, senior warehouseman-picker, storage technology specialist, procurement specialist, store manager, store merchandise specialist, and store warehouseman. The input, output information, and functions for each role are outlined in tables 1 and 2.

3. Designing a warehouse logistics management system using ML, the Traveling Salesman Problem, and Dijkstra's and Held-Karp algorithms

Automation of warehouse logistics management ensures the sustainable development of the company in the future.

Table 1

Roles and Their Functions

Role	Functions
Central warehouse manager	Interaction with other users of the information system; Creating a plan to eliminate storage deficiencies at the central warehouse; View information about all warehouse operations; View documents and reports on the central warehouse's operations.

Continuation of table 1

Role	Functions
Senior warehouseman-picker at the central warehouse	Interaction with other uszers of the information system; Creating an Act on discrepancies in quantity and quality at the central warehouse; Creating a goods receipt Act at the central warehouse; Creating a report on stock at the central warehouse; Creating a supply plan for goods to the store; Creating a goods neceipt note for supplying goods to the store.
Storage technology specialist at the central warehouse	Interaction with other users of the information system; Creating a report on the storage condition check at the central warehouse; Analyze the report on storage condition checks at the store.
Procurement specialist at the management center	Interaction with other users of the information system; Organize procurement from suppliers; Creating a request (order) for supply of goods to the central warehouse.
Store manager	Interaction with other users of the information system; Receiving the supply plan for goods to the store and organizing the receipt of goods; Creating a plan to address storage issues at the store; View documents and reports on the store's operations.
Store merchandise specialist	Interaction with other users of the information system; Creating an Act on discrepancies in quantity and quality at the store; Creating a goods receipt Act at the store.
Store warehouseman	Interaction with other users of the information system; Creating a report on the storage condition check at the store; Creating a report on stock at the store.

Table 2

Input and output information

Input information	Output information
Goods receipt note at the central warehouse from the supplier	Act on discrepancies in quantity and quality at the central warehouse
Supply plan for goods to the central warehouse	Act of goods receipt at the central warehouse
Goods storage regulations	Plan to address storage issues at the central warehouse
Supply plan for goods to the store	Report on stock at the central warehouse
Request for goods supply to the store	Report on the storage condition check at the central warehouse
Request for goods supply to the central warehouse	Goods receipt note to the store
Employee data	Act on discrepancies in quantity and quality at the Store
Warehouse data	Act of goods receipt at the store
Supplier data	Report on the storage condition check at the store
Store data	Plan to address storage issues at the store
Directory data	Report on stock at the store

Figure 8 presents a function tree, which serves as a tool for a detailed description of the logical structure and functional capabilities of the information system.

Figure 9 presents the system's dialogue scenario, which serves as the basis for organizing effective interaction between the user and the information system.

The subprocess "Shipping goods to retail stores" involves creating a "Supply plan for goods to the store", optimized using combinatorial algorithms. Dijkstra's algorithm, developed in 1959, finds the shortest paths in graphs without negative weights, crucial for optimizing connections between warehouses and consumption points in logistics. The Held-Karp algorithm, introduced in 1962, solves the traveling salesman problem,

determining the shortest route that visits all locations once, minimizing supply and transportation costs in logistics [4-6].

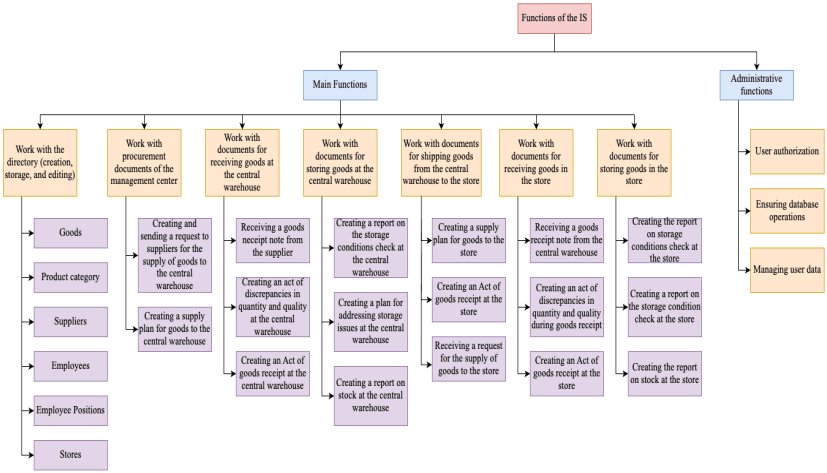


Fig. 8. Function tree of the information system

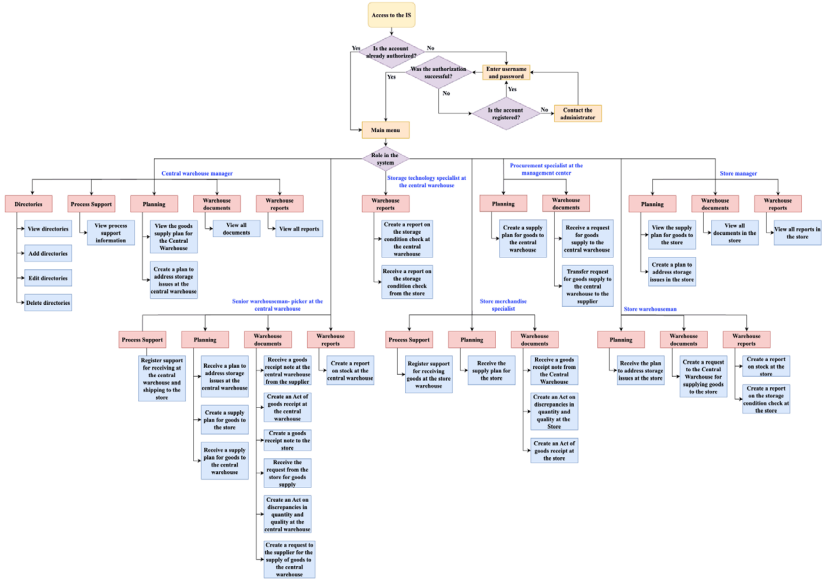
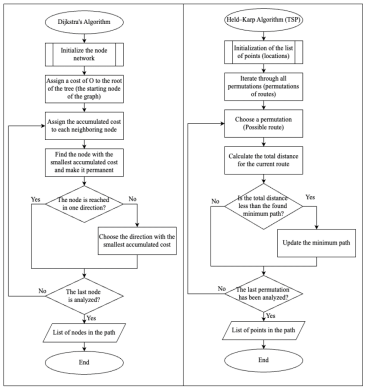


Fig. 9. Dialogue scenario

Figure 10 illustrates the optimization algorithms for determining the shortest path and the problem statement.

Figure 11 shows the testing of Dijkstra and Held-Karp algorithms on supply network data, conducted using python in google colab.

	Dijkstra's Algorithm	Held–Karp algorithm
Basic Formula	If u — is the current vertex and v — is the adjacent vertex with the edge weight $\omega(u, v)$, then the distance update formula is: $distance\ [v] = \min(distance\ [v], distance\ [u] + \omega(u, v))$	State Update: If S — is the current set of visited vertices and j — is the last vertex in the route, then the minimum path cost is calculated as: $dp[S][j] = \min_{i \in S, i \neq j} (dp[S \setminus \{j\}][i] + dist[i][j])$ where: • $dp[S][j]$—minimum path cost for the set of vertices S, ending at vertex j; • $dist[i][j]$—the weight of the edge between vertices i and j; • $S \setminus \{j\}$—set S without vertex j
Conditions	• $distance\ [u]$ — known minimum distance from the starting vertex to u; • $distance\ [v]$ — Initially assigned as infinity (∞),because the distance from the starting vertex to v is unknown; • $\omega(u, v)) > 0$: the edge weight must be positive.	• $dp[\{1\}][1] = 0$: the path cost from the starting vertex A to itself is zero; • For all other states: $dp[S][j]$ is initially set to infinity (∞); • All distances $dist[i][j] > 0$: edge weights must be positive.
Theoretical Foundations	The Dijkstra algorithm is based on a greedy approach: it is assumed that when a vertex is selected (marked as visited), its minimum distance is final and will not change.	The Held–Karp algorithm works by saving intermediate results to avoid recalculating them. This reduces the exponential complexity compared to the brute-force method.
Algorithm Complexity	Using a priority queue: $O(V \log\ V + E \log E)$ where, V — is the number of vertices and E — is the number of edges.	Time Complexity: $O(n^2.2^n)$, where n — is the number of vertices. Space Complexity: $O(n.2^n)$



Problem Statement: Optimize the supply routes from the central warehouse (A) to all consumption points (B, C, D, E, F, G, H, K — retail stores) across the supply network graph.

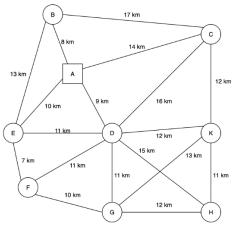


Fig. 10. Optimization algorithms and problem statement

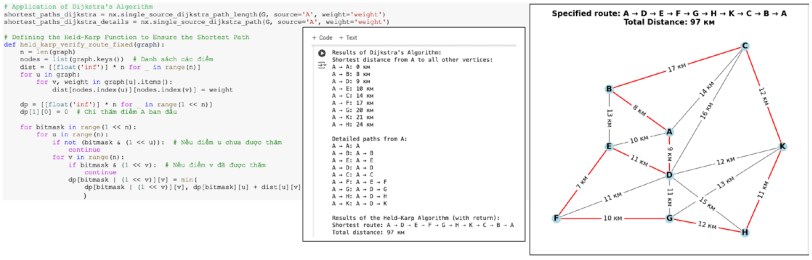


Fig. 11. Testing of Dijkstra's and Held-Karp algorithms

The combination of the Dijkstra and Held-Karp algorithms in the logistics management system allows for the quick identification of local routes (from the central warehouse to the retail stores of the network) and globally optimizes the delivery network, reducing costs.

The warehouse logistics process relies on the "Request for goods supply to the store" and the "Request for goods supply to the central warehouse". These documents can be created using machine learning models like linear regression and random forest, which enable accurate demand forecasting based on sales data, seasonal trends, and other factors. This improves supply planning, optimizes stock management, and reduces storage costs.

Figures 12 and 13 show a comparison of the two models and their evaluation metrics.

Table 3 – Comparison of Linear Regression and Random Forest Regression

	Linear Regression	**Random Forest (for regression)**
Formula	It is assumed that the dependent variable y depends on several independent factors $x_1, x_2, \ldots, x_n$ and also contains a model error ε .Thus, the linear model is described as follows: $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n + \varepsilon$ where: β_0— is the intercept and $\beta_0, \beta_1, \ldots \beta_n$ — are the coefficients to be determined through data analysis	It builds multiple decision trees using the Decision Tree algorithm, with each tree differing (due to an element of randomness). Then, the predicted results from all trees are averaged: $\hat{y} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} y_i$ where: $\hat{y}$ — the final prediction of the model, y_i — the prediction from the i-th tree, M — the total number of trees in the forest
Model Type	Linear (optimal for simple linear relationships)	Non-linear (can handle complex and non-linear relationships)
Noise Handling	Sensitive to noise, may yield incorrect results	Resistant to noise due to averaging results from multiple trees
Computation Complexity	Low. Fast training and prediction	High. Requires more computational resources because of training multiple trees
Overfitting	More likely with complex data	Less likely due to randomness and ensemble learning
Applicability	Simple linear problems with low noise levels	Complex tasks, data with non-linear dependencies, or a large number of factors

Fig. 12. Comparison between the two models

Table 4 – Comparison of Evaluation Metrics Between Linear Regression and Random Forest

	Formula	**Explanation of Evaluation Metrics**	**Linear Regression**	**Random Forest**
MAE	Mean Absolute Error: $MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lvert y_i - \hat{y}_i\rvert$ where: n — number of objects in the sample, y_i — actual value for object i, $\hat{y}_i$ — predicted value for object i, $\lvert y_i - \hat{y}_i\rvert$ — absolute error between actual and predicted values	MAE measures the average deviation of predicted values from the actual values; The smaller the MAE value, the more accurate the model.	Suitable for linear data but sensitive to noise; **Criterion Value: 0.08**	Effective for nonlinear and complex data, less sensitive to noise; **Criterion Value: 0,0164**
MSE	Mean Squared Error: $MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$ where: n — number of objects in the sample, y_i — actual value for object i, $\hat{y}_i$ — predicted value for object i, $(y_i - \hat{y}_i)^2$ — squared error between actual and predicted values	MSE accounts for the square of errors, which puts more emphasis on larger deviations; The smaller the MSE value, the more accurate the model; It is used when minimizing large errors is important.	Often overestimated in the presence of outliers or nonlinear data; **Criterion Value: 0,01**	Reduces the impact of outliers by combining multiple decision trees; **Criterion Value: 0,00064**
R^2	R-squared - Coefficient of determination $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$ where: n — number of objects in the sample, y_i — actual value for object i, $\hat{y}_i$ — predicted value for object i, $\bar{y}$ — average of all actual values, $\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$ — sum of squared errors between actual and predicted values, $\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2$ — sum of squared deviations of actual values from their mean	R^2 shows the proportion of variance in the dependent variable explained by the model: $R^2 = 1$ — The model explains all the variance; $R^2 = 0$ — The model explains nothing (it only predicts the mean); Negative values (rare): The model is worse than simply predicting the mean.	High R^2 value for linear data, but significantly decreases for nonlinear or noisy data. **Criterion Value: 0,63**	High R^2 for nonlinear data, but also decreases with high noise levels; **Criterion Value: 0,97**

Fig. 13. Comparison of the model evaluation metrics

The random forest model outperforms linear regression with lower MAE and MSE, higher R^2, and stable 5-fold cross-validation. Its predictions closely match actual sales, showing high accuracy and the ability to handle nonlinear dependencies, unlike linear regression, which is less effective with complex relationships.

Figure 14 illustrates the testing of linear regression and random forest regression models using historical sales data in python on google colab.

Sales forecasts are used to plan supply volumes for the central warehouse and retail stores, with a recommended 10-15% increase in sales volume for each product category.

Developing machine learning models, combinatorial optimization tasks, and algorithms enhances supply forecasting accuracy and optimizes logistics routes, leading to better inventory management, cost reduction, and improved logistics efficiency.

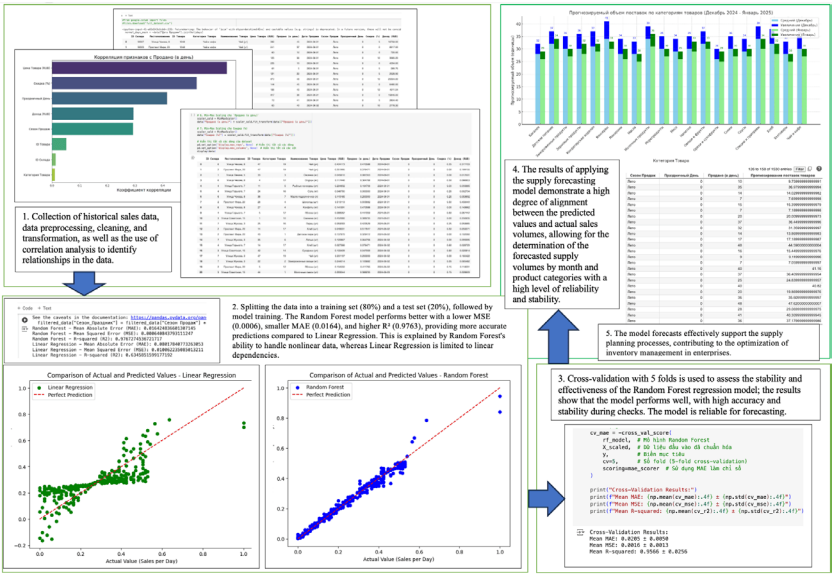


Fig. 14. Testing of the two machine learning models

Conclusion

In conclusion, warehouse logistics management plays a crucial role in improving operational efficiency and customer service quality. The key stages of the process – receiving, storing, and shipping goods – are essential links in the supply chain presented in the proposed business model.

The integration of machine learning methods for demand forecasting, combinatorial optimization tasks, and optimization algorithms not only automates processes but also significantly improves their efficiency. Goods receiving ensures product quality, storage supports optimal inventory management, and shipping ensures timely deliveries to stores.

Thus, the application of modern ML technology and optimization algorithms helps minimize logistics costs, improve planning accuracy, and strengthen the company's competitive advantages.

References

1. Banzekulivakho, M. Zh. Warehouse Logistics: Educational and Methodological Complex for Students Specializing in 1-26 02 05 "Logistics" / M. Zh. Banzekulivakho, O. S. Gulyagina. – Novopolotsk: PSU, 2015. – 268 p.
2. Advantages and Use Cases for Machine Learning in Key Industries [Electronic resource] : Allsee. – Access mode: https://allsee.team/use-cases-for-machine-learning-adoption-in-key-industries
3. Application of Artificial Intelligence in Logistics [Electronic resource] : ITOB. – Access mode: https://itob.ru/blog/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-logistike
4. Dijkstra's Algorithm [Electronic resource] : Wikipedia. – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm
5. Held-Karp Algorithm [Electronic resource] : Wikipedia. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/Held–Karp_algorithm
6. Travelling Salesman Problem [Electronic resource] : Wikipedia. – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem

Оптимизация технологических размерных структур в условиях неопределенности

М. А. Анфёров, e-mail: anfyorov@inbox.ru

«МИРЭА – Российский технологический университет»

Аннотация. *Рассматривается процедура поиска оптимального варианта размерной структуры наукоемкого технологического процесса на множестве альтернативных, определяемых математической моделью, отображающей размерные связи. Реализован многокритериальный подход, минимизирующий производственные затраты с обеспечением технологической надежности. Данная процедура может быть рекомендована к использованию при проектировании технологических процессов в условиях информационной неопределенности в качестве математического обеспечения САПР ТП.*

Ключевые слова: *оптимизация, размерные связи, принятие решений, технологический процесс, информационная неопределенность.*

Введение

Конкурентные преимущества наукоемкой техники (авиационной, военной и др.), характеризуемой высокой долей затрат на НИОКР в общем их объеме на техническую подготовку производства, включая разработку критических технологий [1], определяются двумя основными факторами: ценой выпускаемых на рынок изделий, коррелируемой с вышеназванными общими затратами, и качеством этих изделий, определяемым их надежностью и эксплуатационными характеристиками. Противоречивость этих факторов удается частично разрешить за счет использования современных информационных систем, интегрированных в общее информационное пространство, охватывающего все этапы жизненного цикла изделий согласно современной CALS-стратегии [2].

Центральное место в цепочке процессов жизненного цикла занимает разработка технологических процессов (ТП), надежность которых минимизирует затраты на производство изделий при обеспечении требуемого их качества. Однако при технологическом проектировании встает проблема информационной неопределенности, вызванной высокой многовариантностью структуры ТП в части выбора методов технологической обработки, средств технологического

© Анфёров М. А., 2025

оснащения, последовательности и уровня концентрации технологических операций, выбора установочных и исходных технологических баз и др. При этом все перечисленные факторы напрямую связаны с размерной структурой технологического процесса, образующей технологические размерные цепи, влияющие на обеспечение надежности ТП [3].

1. Постановка задачи

Многовариантность размерной структуры технологического процесса, используемая при оптимизации, определяется наличием альтернатив в выборе установочных и исходных технологических баз. В результате в качестве модели, отображающей допустимое множество решений по выбору размерной структуры в процедуре оптимизации, используется математическая модель в виде ориентированного графа $\mathbf{G}^* = (\mathbf{X}, \mathbf{L}^*, \mathbf{A}, \mathbf{Z})$, построение которой подробно описано в [4] где поиск размерной структуры использован с помощью генетического алгоритма в отличие от рассматриваемого детерминированного подхода. Множество вершин $\mathbf{X}$ представляет в модели поверхности, участвующие в размерных связях технологического процесса [3]. Дуги $l^* = \{x_i, x_j\} \in \mathbf{L}^*$ соответствуют технологическим размерам, соединяющим исходную базу (x_i) с обрабатываемой поверхностью (x_j). Множество таких размеров в отношении конкретной обрабатываемой поверхности является генератором множества альтернативных оптимизационных решений, заложенных в модели. Ребра $a = \{x_i, x_j\} \in \mathbf{A}$ соответствуют конструкторским размерам, а ребра $z = \{x_i, x_j\} \in \mathbf{Z}$ – промежуточным припускам [5].

Как известно [3], с помощью данной модели можно выявить две группы размерных цепей (коэффициент $\xi = \pm 1$ определяет знак звена размерной цепи):

$$a_k = \sum_i \xi_i \cdot l_i, \tag{1}$$

$$z_u = \sum_j \xi_j \cdot l_j, \tag{2}$$

которым соответствуют соотношения допусков (вид функций f_a и f_z определяется методом расчета размерных цепей):

$$\delta a_k \geq \sum_i f_a(\delta l_i), \tag{3}$$

$$\omega z_u = \sum_j f_z(\delta l_j), \tag{4}$$

где ωz – рассеивание значений реально снимаемого припуска, а δl и δa – задаваемые в документации допуски на технологические и конструкторские размеры соответственно.

На построенной модели необходимо найти структуру (1) – (2), соответствующую критерию оптимизации – минимуму технологических затрат, определяемых двумя взаимоисключающими факторами:

– затратами, связанными с наладкой средств технологического оснащения в период подготовительно-заключительного времени, минимизация которых определяется максимизацией суммарного значения допусков на технологические размеры;

– затратами, связанными с технологической производительностью, минимизация которых определяется минимизацией снимаемых припусков, то есть минимизацией суммарного значения допусков на технологические размеры, значения которых входят в величину этих припусков (см. (4).

Данное противоречие снимается в представленной процедуре оптимизации.

2. Процедура оптимизации

На математической модели $\mathbf{G}^* = (\mathbf{X}, \mathbf{L}^*, \mathbf{A}, \mathbf{Z})$ для $\forall x_i \in \overline{\mathbf{X}}$ ставится в соответствие вектор, т.е. $x_i \to \mathbf{W}^i = \{w_j^i\}$, $j = [1, n_i]$, где n_i – число инцидентных вершине x_i дуг $\{x_i, x_j\} \in \mathbf{L}^*$, соответствующих альтернативным для неё размерам, а w_j^i – число, идентифицирующее конкретную из этих дуг.

Вводится автоморфизм $\phi : \mathbf{Z} \to \mathbf{Z}^*$, определяемый упорядочением элементов множества $\mathbf{Z}$ в порядке убывания их приоритетности, определяемой экспертно в зависимости от принадлежности виду обработки.

Для $\forall l^* = \{x_i, x_j\} \in \mathbf{L}^*$ вводится пороговое значение $\delta\tilde{l}^*$ на минимально допустимую величину допуска (квалитет точности), определяющее условие допустимости системы уравнений размерных цепей.

Требуется выделить множество $\overline{\mathbf{L}} \subset \mathbf{L}^*$ ($\overline{\mathbf{L}}$ образует связное граф-дерево), определяющее совместную систему уравнений размерных цепей, в виде информационного вектора $\mathbf{R} = \{r_1, r_1, ..., r_m\}$ ($r_i = w_{j_i}^i$; m –

количество вершин графа), таким образом, что определяемое данной системой множество значений $\{\omega z_1, \omega z_2, ..., \omega z_u\}$, изоморфно соответствующее множеству $\mathbf{Z}^* = \{z_1, z_2, ..., z_u\}$, удовлетворяет условию, что не существует другой допустимой системы уравнений, дающей такое решение $\{\omega z_1^0, \omega z_2^0, ..., \omega z_u^0\}$, что $\exists k \in [2, u] \Rightarrow \omega z_k^0 < \omega z_k$, $\omega z_p^0 \le \omega z_p$, $p \in [1, k-1]$.

Идея разработанной процедуры отталкивается от метода многокритериальной пороговой оптимизации, основанного на построении упорядоченного множества решений по основному критерию.

Как видно из постановки задачи, процедура направлена на формирование структуры технологических размерных связей в виде граф-дерева $\overline{\mathbf{L}}$. Промежуточное состояние данной структуры будем называть $\overline{L}$-подструктурой, которая, как было отмечено выше, полностью определяется состоянием информационного вектора $\mathbf{R}$.

Далее, определим цепь $\Psi = \{l_1^*, l_2^*, ...l_t^*\}$ на графе $\overline{\mathbf{L}}$, определяемую как связанную конечную последовательность дуг i^* без учета их ориентации, а длину этой цепи – как $S(\Psi) = \sum_{l_t^* \in \Psi} \delta l_t^*$.

Блок-схема основной процедуры оптимизации приведена в виде блок-схемы на рис.1–2.

Ниже приведено описание процедур, входящих составными элементами в основную.

Процедура «Обнуление информационного вектора» реализует для $\forall r_i \in \mathbf{R} \Rightarrow r_i = 0$.

Процедура «Заполнение информационного вектора» для цепи $\Psi_1^{h_1}$ реализует для $\forall l_t^* = (x_y, x_i) \in \Psi_1^{h_1} \Rightarrow x_i \to w_{j_i}^i \Rightarrow r_i = w_{j_i}^i$.

Процедура «Сверить цепь $\Psi_i^{h_i}$ с информационным вектором» заключается в том, что для $\forall l_t^* = (x_y, x_i) \in \Psi_i^{h_i} \Rightarrow x_i \to w_{j_i}^i$ и делается проверка справедливости выражения $(w_{j_i}^i = r_i) \vee (r_i = 0)$. Если $\exists l^* \in \Psi_i^{h_i}$, для которой названное условие не выполняется, то результат сверки считается отрицательным.

Процедура «Дополнить информационный вектор» заключается в том, что с использованием цепи $\Psi_i^{h_i}$ для $\forall l_t^* = (x_y, x_i) \in \Psi_i^{h_i} \Rightarrow x_i \to w_{j_i}^i$ и делается проверка: если $r_i = 0$, тогда $r_i = w_{j_i}^i$.

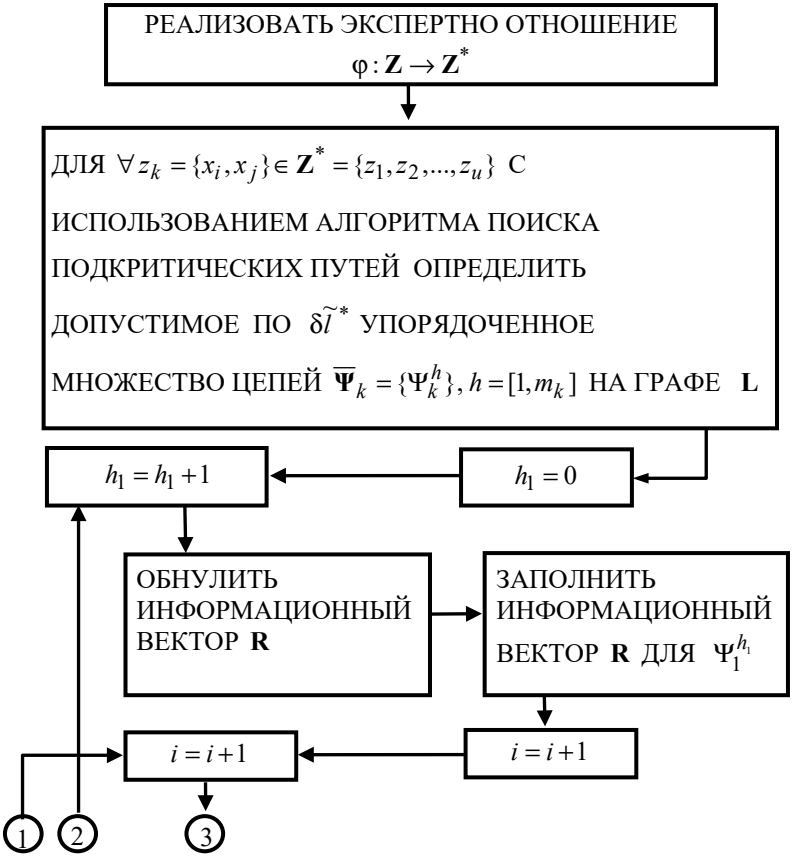


Рис. 1. Блок-схема процедуры оптимизации (первый фрагмент)

Процедура «Восстановить найденную структуру по информационному вектору» предусматривает по найденному информационному вектору выделение подмножества

$\overline{\mathbf{L}} \subset \mathbf{L}^*$ следующим образом: для $\forall l_t^* = (x_y, x_i) \in \mathbf{L}^* \Rightarrow x_i \to w_{j_i}^i$ и делается проверка: если $w_{j_i}^i = r_i$, то $l_t^* \in \overline{\mathbf{L}}$.

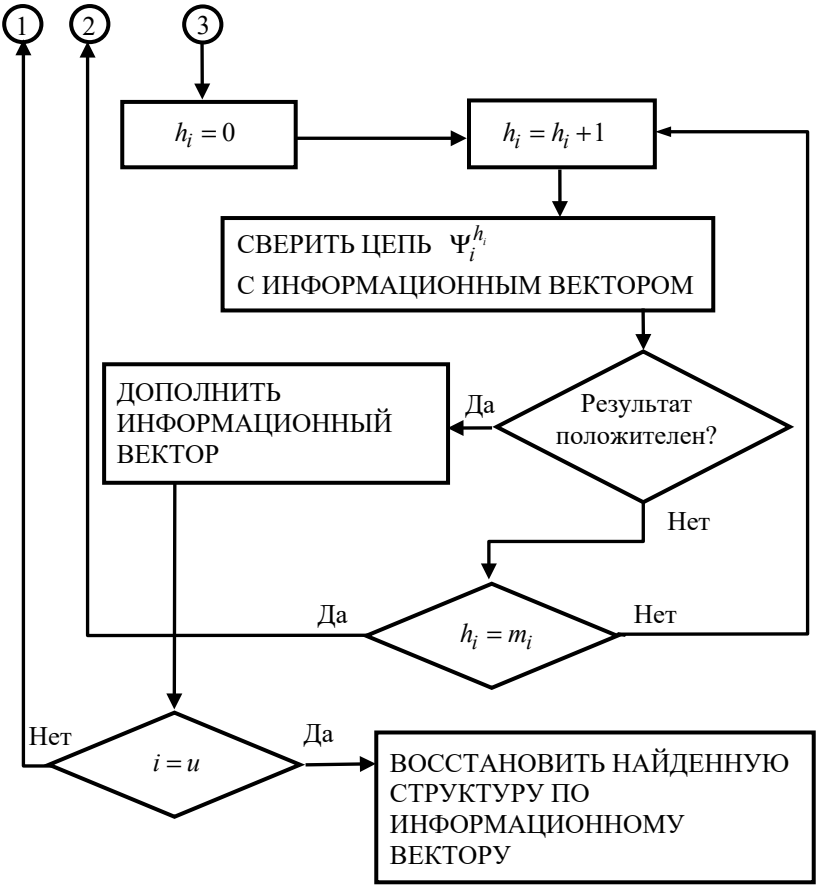


Рис. 2. Блок-схема процедуры оптимизации (второй фрагмент)

Таким образом, в результате решения данной оптимизационной задачи получается технологический граф $\mathbf{G} = (\mathbf{X}, \overline{\mathbf{L}}, \mathbf{A}, \mathbf{Z})$, определяющий совместную систему уравнений, позволяющую рассчитывать технологические размерные параметры и операционные припуски.

Данное решение строится на компромиссе, составляющем основу любой многокритериальной оптимизационной задачи.

Заключение

Полученные в данной работе результаты предоставляют разработчикам САПР ТП в качестве элемента математического обеспечения новый инструмент поддержки принятия решений при выборе размерной структуры проектируемых технологических процессов. Это повышает эффективность технологического проектирования, обеспечивающего конкурентоспособность продукции наукоемкого производства.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» [Электронный ресурс] : база документов системы ГАРАНТ. – Режим доступа : https://base.garant.ru/55171684/
2. Кутин, А. А. Современный уровень и опыт применения CALS-технологий в сложных машиностроительных производствах / А. А. Кутин, М. В. Туркин // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2012. – № 6 (12). – С. 35-40.
3. Мухин, В. С. Основы технологии машиностроения (авиадвигателестроение) : Учебное пособие / В. С. Мухин. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2006. – 459 с.
4. Анфёров, М. А. Эволюционное моделирование в принятии оптимальных технологических решений в условиях неопределенности / М. А. Анфёров // Матер. XIX межд. научно-методич. конф. «Информатика: проблемы, методология, технологии», г. Воронеж, 14-15 февраля 2019 г.– Воронеж : Изд-во «Вэлборн», 2019.– С.1041-1045.
5. ГОСТ 3.1109–82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2012. – 98 с.

Нейросетевое моделирование таксационных показателей лесных древостоев сосны и лиственницы

Д. В. Арапов, email: arapovdv@gmail.com[1,2,3]
А. А. Скрыпников, email: skrypnikovvsafe@mail.ru[2]

[1] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, Россия
[3] ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», г. Москва, Россия

Аннотация. *В данной работе рассматривается моделирование с помощью искусственных нейронных сетей роста лесов России на примере сосны обыкновенной и лиственницы южноякутских брусничниковых лесов.*

Ключевые слова: *нейронные сети, рост сосны, лиственницы, многослойный персептрон.*

Введение

Исследованию и моделированию динамики естественного изреживания и роста лесных древостоев в различных условиях и климатических зонах России посвящено большое количество работ, например, [1-12]. В них приведены результаты математической обработки обширных наблюдений за естественным ростом и отпадом лесных насаждений сосны и лиственницы с различной густотой посадки в разновозрастных лесных монокультурных и поликультурных массивах. Установлено, что независимо от густоты посадок отпад (гибель) деревьев носит колебательный характер, и это является следствием инерционности механизма саморегуляции биологическим систем, который действует на основе принципа обратных связей между слагающими биосистему компонентами. Установлено, что математическая модель (ММ) динамики гибели элементов биосистемы должна представлять собой аддитивную смесь функций временного тренда, волновой и случайной компонент. Для этого авторы широко используют регрессионные экспоненциальные функции типа Ципфа-Парето-Мандельброта, Пюттера-Берталанфи, Г.Ф. Хильми, иногда аддитивно дополненные функцией cos(at), где t-возраст древостоев. Для

© Арапов Д. В., Скрыпников А. А., 2025

моделирования средней толщины дерева используют экспоненциально-логарифмическую зависимость от возраста, а среднюю высоту и древесный запас рассчитывают с использованием экспоненциальных функций [3, 5, 6, 8]. В [7] установлена оптимальная густота посадки ели в лесокультурных и промышленных насаждениях, а в [12] исследована приживаемость саженцев сосны в условиях Карелии. Недостатком известных подходов к моделированию таксационных параметров древостоев является сравнительно низкая точность используемых регрессионных зависимостей. Например, относительная погрешность моделирования зависимости числа оставшихся живых деревьев от их возраста и густоты посадки [1, 2, 9, 11] составляет от 14% до 35%. К недостаткам регрессионных моделей также относится их невысокая прогностическая способность. Этих недостатков лишены ММ основанные на искусственных нейронных сетях, способные объединить в единое целое многочисленные опытные исследования и обеспечивающие достаточно высокую точность моделирования и обладающие надежной прогностической способностью. Высокая результативность применения искусственного интеллекта на предприятиях аграрно-промышленного комплекса и в медицине описана, например, в [13, 14]. Целью данного исследования является разработка на основе нейронных сетей ММ таксационных показателей лесных древостоев сосны и лиственницы.

1. Материалы и методы

Нейросетевое моделирование реализовали посредством стандартного модуля TensorFlow и языка Python, версия 3.11.7. Использованные библиотеки – Numpy и Matplotlib. В программе реализовали: считывание и разделение данных на входные и выходные, нормировку данных. Структура многослойного персептрона, число нейронов в каждом слое, вид функции активации, количество эпох (т.е. число прогонов алгоритма оптимизации), коэффициент валидации и другие параметры задаются и реализуются в модуле Net.py. Ответ нейронной сети осуществляется после минимизации целевой функции. При построении результирующих графиков по оси абсцисс выводятся номера опытов, по оси ординат – опытные и расчетные нейросетевые значения искомых параметров.

2. Результаты моделирования

1. Моделирование хода роста насаждений сосны, созданных М.К. Турским. Нейронная сеть для моделирования является многослойным персептроном, включающим входной слой, два скрытых слоя по 35 нейронов и выходной слой, состоящий из одного нейрона. На два входа

персептрона поступают нормированные значения возраста сосен (годы) и густоты их посадки (тыс. шт./га). С выхода выходного слоя снимается количество оставшихся после отпадов живых деревьев (рис.1).

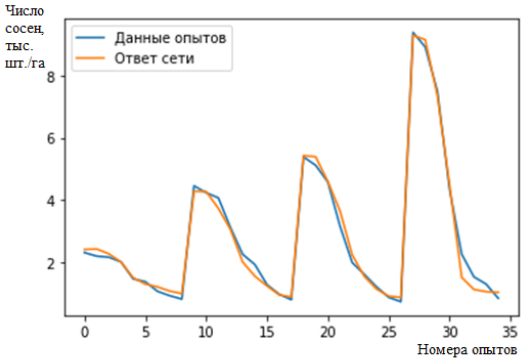


Рис. 1. Моделирование хода роста насаждений сосны, созданных М.К. Турским (возраст 1-80 лет)

Средняя относительная погрешность моделирования составила 8,5 %. Количество эпох равно 25000.

2. Моделирование обобщенных данных хода роста сосновых древостоев. Для всех трех искомых параметров (число живых деревьев, средняя высота и средний диаметр) выбрали многослойный персептрон, состоящий из входного слоя, двух скрытых слоев по 20 нейронов и однонейронного выходного слоя, с выхода которого снимается значение параметра. На вход персептрона поступает нормированное значение возраста сосен от 10 до 200 лет. Зависимость числа оставшихся живых сосен от их возраста (от 20 до 200 лет) показана на рис. 2.

Количество эпох было выбрано равным 25000. Средние относительные погрешности нейромоделирования соответственно равны: для числа живых сосен – 6,3% (рис. 2), для средних высот – 2,45%, для средних диаметров – 3,5%. В последних двух случаях временной диапазон составляет 10 – 200 лет.

3. Моделирование хода роста древостоев лиственницы южной Якутии. Структура выбранного персептрона аналогична предыдущему, но количество нейронов в двух скрытых слоях равно по 19. На вход персептрона поступает нормированное значение возраста лиственниц от 40 до 220 лет. С выхода выходного слоя снимается значение искомого параметра – количество оставшихся лиственниц, их средняя высота и средний диаметр (рис. 3).

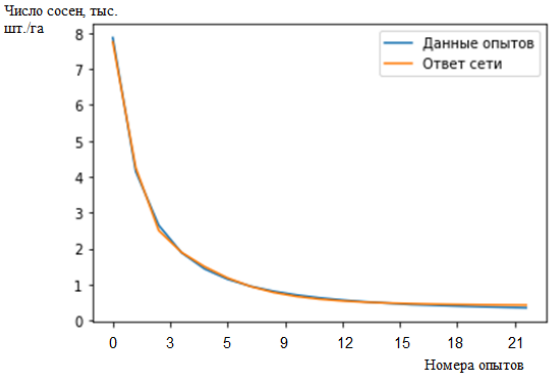


Рис. 2. Зависимость количества живых сосен от их возраста в пределах 20 – 200 лет

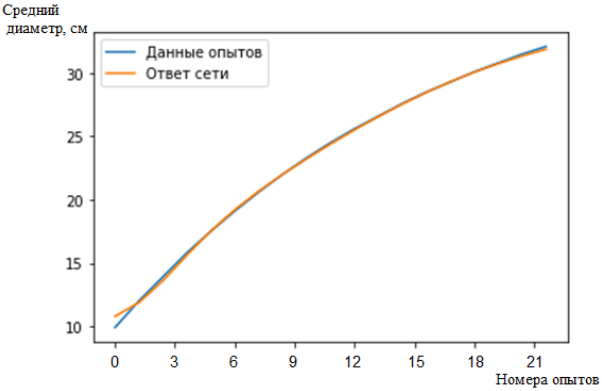


Рис. 3. Возрастное изменение среднего диаметра лиственниц в пределах от 40 до 220 лет

Количество эпох приняли равным 20000. Средние относительные погрешности нейромоделирования соответственно равны: для числа живых лиственниц – 3,51%, для средних высот – 0,83%, для средних диаметров – 0,91% (рис.3). Временной предел 40 – 220 лет.

Заключение

Проведенное нейромоделирование показало перспективность его использования для исследования закономерностей роста лесных древостоев, как в культурных, так и в естественных насаждениях. Предложенный подход к расчету таксометрических показателей лесных

насаждений выявил его существенное преимущество по сравнению с применением эмпирических моделей [15].

Список литературы

1. Демаков, Ю.Л. Диагностика устойчивости лесных экосистем. – Йошкар-Ола, 2000. – 416 с.
2. Богачев, А.В. Лесотаксационные исследования. –М., 2007. – 344 с.
3. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии: нормативные справочные материалы: 2-е изд. перераб. и дополн./ А.З Швиденко, Д.Г. Щепащенко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй. – М., 2008. – 886 с.
4. Мерзленко, М.Д. Обоснование теории волнообразного роста хвойных лесных культур //Лесной вестник. – 2021. – Т. 25., №2. – С. 3-9.
5. Швиденко, А.З. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы хода роста) / А.З Швиденко, Д.Г. Щепащенко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй // Лесное хозяйство. – 2003. – №6. – С. 34 – 38.
6. Швиденко, А.З. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы и модели биопродуктивности) / А.З Швиденко, Д.Г. Щепащенко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй // Лесное хозяйство. – 2004. – №2. – С. 40 – 44.
7. Мельник, П.Г. Лесокультурно-лесоводственное значение параметров размещения ели при посадке в национальном парке «Лосиный остров»/ П.Г. Мельник, Ф.Н. Воронин, М.Д. Мерзленко// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – №1 (111). – С. 52 – 58.
8. Лебедев, А.В. Таксационные показатели сосновых древостоев по данным долговременных наблюдений/ А.В. Лебедев, В.В. Кузьмичев// Сибирский лесной журнал. – 2023. – №2. – С. 3 – 16.
9. Дубенок, Н.Н. Динамическая модель изреживания культур сосны/ Н.Н. Дубенок, А.В. Лебедев, В.В. Кузьмичев// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2022. – Вып. №239. – С. 6-21.
10. Мерзленко, М.Д. Динамика роста сосны в старовозрастных древостоях сложного бора/ М.Д. Мерзленко [и др.]// Известия вузов. Лесной журнал. – 2018. – №4. – С. 31 – 39.
11. Шутов, И.В. Рост сосны в рядовых культурах при заданных вариантах густоты и разных ширине междурядий и шаге посадки/ И.В. Шутов [и др.]// Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2014. – №1. – С. 19 – 29.

12. Соколов, А.И. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии/ А.И. Соколов [и др.]// Известия вузов. Лесной журнал. – 2015. – №6. – С. 46 – 56.

13. Грачев, А.В. Применение нейросетевых технологий для прогнозирования состояния работы объектов предприятий АПК// Техника и технология пищевых производств. – 2023. – Т.53, №4. – С. 816 – 823.

14. Киреева, К.А. Разработка искусственной нейронной сети для классификации ЭКГ/ К.А. Киреева, Л.А. Коробова, Д.В. Арапов// Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т.16, №3. – С. 42 – 54.

15. Лебедев, А.В. Эмпирические модели роста и производительности древостоев по данным долговременных наблюдений в условиях антропогенных воздействий и климатических изменений (4.1.6): автореф. дис. … докт. с./х. наук: 4.1.6/ Лебедев Александр Вячеславович, М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2023. –40 с.

Об одном подходе оценки ущерба организации при страховании от рисков

Д. Д. Бурзунов, email: daniel.burzunov@mail.ru[1]
М. В. Тимошин, email: timoshinmv@gmail.com[1]
Д. В. Арапов, email: arapovdv@gmail.com[1,2,3]

[1] ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», г. Москва, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия
[3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, Россия

Аннотация. *В данной работе проведен анализ существующих методик оценки ущерба, на основе которого сформирована концепция оценки риска в страховом сегменте. На основе многомерных функций распределения разработана оптимизационная модель оценки риска при страховании от негативных событий.*

Ключевые слова: *оценка ущерба, оптимизация, многомерные функции распределения.*

Введение

Риск состоит из двух компонент: вероятности реализации негативного события и количественной оценки наносимого негативным событием ущерба. Для определения первой компоненты используются: риск-аппетит, доверительный интервал, квантили по уровню, априорная и апостериорная вероятности, моменты распределений, описывающих те или иные процессы и т.д. Незначительное внимание, уделяется количественной оценке риска, которую можно оценить также с определённой вероятностью. Как правило, для этой цели используют константы, равномерное распределение на отрезке и т.п., тем самым значительно искажая реальную действительность учета последовательности и значимости рисковых событий. Общим недостатком известных методов моделирования [1-6] является то, что в них обычно учитывается только скорость распространения угрозы или (и) вероятность начала атаки. В рамках данной работы удалось, основываясь на предположении вероятностного характера процесса оценить ущерб через многомерные функции распределения. Используемые до настоящего времени для количественной оценки риска

© Бурзунов Д. Д., Тимошин М. В., Арапов Д. В., 2025

методы одномерного моделирования не учитывают взаимосвязь между факторами ущерба, которому может быть подвергнуто предприятие.

1. Материалы и методы

Расчет действительного ущерба определяется по формуле:

$$Y_{mn} = \sum_{i=1}^{N} Y_i \tag{1}$$

где Y_i –компонента ущерба, N – число компонент нанесенного ущерба. Под функцией ущерба от угрозы безопасности информации понимается зависимость от объёма вложенных средств оценки точности ущерба.

Введём функции P, V и A. Функция $P(\mathrm{v})$ определяет зависимость точности оценки от значимости (ценности) полученной информации $\mathrm{v} \in [0;1]$. Функция $V(u) = v$ отражает зависимость между значимостью и объёмом информации, собранной о системе.

Под значимостью информации будем понимать коэффициент полезности новой информации – соотношение фактической нового блока информации относительно уровня максимально возможной пользы, которую можно получить от аналогичного объёма информации. Очевидно, что значение параметра будет находиться в промежутке $[0;1]$. Функция, по ходу роста аргумента, будет расти до максимума, равного 1, затем её значение уменьшается. Такая функция адекватно описывает потребление информации практически любым организационным сообществом.

Отличие ценности информации от её объёма является ключевым. Как правило, систему характеризует самая важная информация достаточная для ее оценки, что позволяет обходиться меньшим объемом информации при меньшем объеме ресурсов. Крайне важным является следящий контроль отношения пользы информации от ее объема и определение момента времени уменьшения этого отношения.

Функция $A(z)$ связывает объём полученной информации об объекте защиты с вложенными для этого средствами и ресурсами. Точность оценки, таким образом, сводится к следующему:

$$f = P\left(V\left(A(z)\right)\right) \tag{2}$$

Ограничения, накладываемые на (2): объём вложенных средств определяется отрезком $[0;+\infty]$; относительный объём информации определяется на отрезке $[0;1]$; получить полную информацию о системе

практически невозможно. Приближение к этой величине значительно замедляет рост функции при растущем объёме требуемых затрат.

Быстрорастущий вариант распределения Фишера хорошо подходит для реализации вышеописанного. Корректировка распределения под задачу реализуется изменением двух его параметров. При задании параметров (100, 1) функция ведёт себя требуемым образом. Полученная формула распределения:

$$A(z)=\frac{\int_0^{\frac{100z}{100z+0.5}} t^{49}\cdot(1-t)^{-0.5}\,dt}{\int_0^1 t^{49}\cdot(1-t)^{-0.5}\,dt} \qquad (3)$$

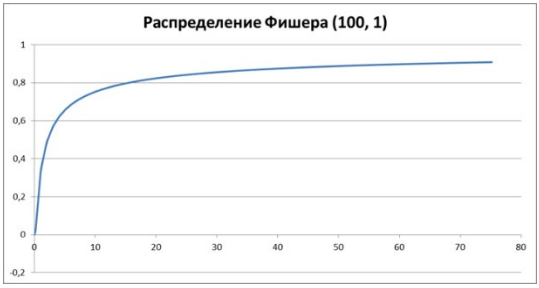


Рис. 1. Связь объёма полученной информации об объекте защиты с размером затрат для проведения оценки

В связи с зависимостью объёма полученной информации от информационной политики объекта защиты параметр роста функции (первый параметр распределения Фишера) определяется экспертным путем. Он отражает простоту получения информации на самом объекте защиты.

Функция V в общем виде представлена на рис. 2. Формула функции очень напоминает общий вид бета-распределения, поэтому за основу функции взят именно её график.

График функции может изменяться в случае, если наиболее полезную информацию об объекте защиты можно получить, собрав меньшее или большее количество информации.

Наиболее достоверным фактором, по которому можно судить об изменении характера кривой, является сложность объекта защиты. Для объектов невысокой, средней и высокой сложности параметры распределения соответственно равны: 1) $\alpha=1,4,\ \beta=2,1$; 2) $\alpha=1,7,\ \beta=2,1$; 3) $\alpha=2,5;\ \beta=2,1,$ свободный член равен -0,1.

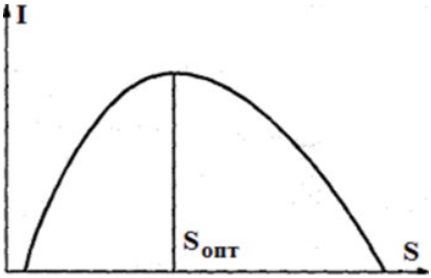


Рис. 2. Типичный вид зависимости полноты информации от её ценности

Показателем ценности служит отношение объема полученной о системе информации к ее предполагаемому объему при учете неоднородной ценности (значимости) информации:

$$G(u)=\frac{2}{3}\cdot\frac{u^{(a-1)}\cdot(1-u)^{(c-1)}}{\int_0^1 q^{(a-1)}\cdot(1-q)^{(c-1)}\,dq} \tag{4}$$

$$V(u)=\frac{\int_0^u G(u)\,du}{\int G(u)\,du} \tag{5}$$

Бета-функцией $G(u)$ моделируется изменение значимости новой информации. Общий показатель значимости информации $V(u)$ получается делением интеграла всей полученной значимости на всю возможную значимость информации о системе. Посредством коэффициента 2/3 реализуется нормировка бета-распределения.

Для функции $P(u)$ набор (100, 100) является наиболее удачным, так как он ограничивает и рост функции, и рост аргумента справа:

$$P(u)=\int_0^{\frac{100u}{100\,(u+1)}} t^{49}\cdot(1-t)^{49}\,dt \tag{6}$$

Здесь $P(u)$ является комбинацией распределения Фишера и неполной бета-функции при степенях свободы равных 100.

Критерием оптимизации служит сумма z, затраченная на оценку. Она должна быть выражена через вышеприведенные функции:

$$A(z)=\frac{\int_0^{\frac{100z}{100z+0.5}} t^{49}\cdot(1-t)^{-0.5}\,dt}{\int_0^1 t^{49}\cdot(1-t)^{-0.5}\,dt} \tag{7}$$

$$G(u)=\frac{2}{3}\cdot\frac{u^{(a-1)}\cdot(1-u)^{(c-1)}}{\int_0^1 q^{(a-1)}\cdot(1-q)^{(c-1)}\,dq} \tag{8}$$

$$V(u)=\frac{\int_0^u G(u)\,du}{\int G(u)\,du} \tag{9}$$

$$P(u)=\int_0^{\frac{100u}{100\cdot(u+1)}} t^{49}\cdot(1-t)^{49}\,dt \tag{10}$$

Задача оптимизации заключается в следующем: необходимо найти такой параметр z, чтобы:

$$\begin{cases} z = X^{-1}\left(M^{-1}\left(F^{-1}(f)\right)\right) \\ z \to min \\ f \geq y \end{cases} \tag{11}$$

где y – точность оценки (по умолчанию равно 0,95).

Заключение

Предложенный подход акцентирует внимание на количественной оценке последствий от реализации угроз, что является ключевым моментом для принятия обоснованных решений в сфере информационной безопасности. Он позволяет: определить ключевые компоненты, влияющие на уровень ущерба; разработать логику формирования оценки ущерба, учитывая специфику организации и ее информационных систем; показать связь подхода с математической постановкой решаемой задачи, обеспечивая объективность и воспроизводимость результатов.

Список литературы

1. Воронцовский, А. В. Управление рисками: учебник и практикум для вузов / А. В. Воронцовский. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 485 с.

2. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации (утв. ФСТЭК России 05.02.2021) [Электронный ресурс]: Документ предоставлен КонсультантПлюс – Режим доступа: http://www.consultant.ru

3. ГОСТ Р 59516-2021. Информационные технологии. Менеджмент информационной безопасности. Правила страхования рисков информационной безопасности [Текст]. – Введ. 2021-11-30– М. : Стандартинформ, 2021. – 20 с.

4. Проектирование и защита компьютерных сетей [Текст]: практикум/ А.В. Скрыпников, Д.В. Арапов, И.А. Высоцкая, В.В. Денисенко, А.А. Берестовой; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2023. – 160 с.

5. Защита Web-приложений [Текст]: учеб. пособие /А.В. Скрыпников, Д.В. Арапов, В.В. Денисенко, Т.Д. Герасимова; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2020. – 75 с.

6. Разработка и защита баз данных [Текст]: учебное пособие по дисциплине "СУБД Oracle" /Д.В. Арапов, А.В. Скрыпников, В.В. Денисенко, И.А. Высоцкая; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2020. – 100 с.

Разработка системы генерации документов, сопутствующих процессу ГИА ФГБОУ ВО «Воронежского государственного университета»

С. И. Бутовецкая, email: butovetskaya@cs.vsu.ru
Е. А. Копытина, email: zhemkaterina@yandex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной статье описывается разработка информационной системы генерации документов, сопутствующих процессу ГИА ФГБОУ ВО «ВГУ», которая предоставляет возможности по автоматическому заполнению необходимых бумаг.*

Ключевые слова: *электронные документы, генерация документов, автоматизация рутинных задач, оптимизация процесса ГИА, разработка веб-приложения, информационная система.*

Введение

Сотрудники образовательных учреждений тратят много времени на выполнение рутинных задач, как показано в [1-4]. В частности, процесс государственной итоговой аттестации (ГИА) сопровождается созданием и учетом множества документов, включая оценочные листы, протоколы заседаний государственной экзаменационной комиссии (ГЭК), результаты аттестации и другие. Каждый из документов имеет стандартный шаблон. Данные, необходимые для заполнения этих бумаг, секретарь ГЭК собирает вручную. Таким образом, подготовка документов, сопутствующих процессу ГИА, состоит в том, чтобы собрать нужную информацию по студентам и корректно вставить в шаблоны.

Такая работа является рутинной и занимает много времени у сотрудника образовательного учреждения. Поэтому автоматизация этого процесса является актуальной и значимой задачей.

Данная статья описывает систему генерации документов для ГИА ФГБОУ ВО ВГУ, которая предоставит функционал генерации пакета документов по введённым данным, тем самым продолжая разработку, описанную в [5]. Разработка такой системы позволит сократить время на формирование необходимых бумаг.

© Бутовецкая С. И., Копытина Е. А., 2025

1. Постановка задачи

Постановка задачи в рамках разработки системы генерации документов, сопутствующих процессу ГИА ФГБОУ ВО ВГУ звучит следующим образом: требуется разработать веб-приложение, способное автоматизировать процесс заполнения документов для заседания ГЭК. К описываемой в статье системе были выдвинуты следующие требования:

- Реализовать аутентификацию пользователя;
- Предоставить пользователю возможность вводить данные о предстоящих заседаниях ГЭК и загружать информацию о ВКР студентов в виде документа Excel;
- Разработать функционал генерации документов для проведения заседаний комиссии на основе полученных данных;
- Предоставить пользователю возможность вводить данные о результатах проведения ГИА;
- Разработать функционал генерации документов о присвоении квалификации выпускникам.

2. Средства реализации программного продукта

Основной код веб-приложения написан на объектно-ориентированном языке Java с использованием следующих технологий:

- Gradle – фреймворк для автоматической сборки проекта с описанием зависимостей в файле build.gradle.
- PostgreSQL – объектно-реляционная система управления базами данных (СУБД).
- Spring – фреймворк для создания веб-приложений и Spring Boot – модуль Spring, который осуществляет автоматическую настройку веб-приложений и предоставляет встроенные HTTP-серверы (Tomcat). Spring Security – фреймворк для реализации регистрации и авторизации пользователей веб-приложения [6].
- Hibernate – библиотека для языка программирования Java, цель которой связать объектно-ориентированное программирование и реляционную базу данных, а также сопоставить типы данных Java с типами данных SQL. Hibernate является реализацией JPA [7].
- Thymeleaf – серверный механизм Java-шаблонов для веб-приложений, способный обрабатывать HTML.
- HTML – язык гипертекстовой разметки документов для веб-страниц. CSS – формальный язык для описания стиля документа HTML.

Разработанное веб-приложение имеет клиент-серверную архитектуру. Клиент и сервер взаимодействуют посредством обмена сообщений типа GET и POST протокола HTTP.

3. Реализация логики программного продукта

Система генерации документов может быть условно разделена на три части: чтение данных из документа Excel, обработка данных и заполнение необходимых документов по шаблонам.

На рис. 1 представлен пример заполненного документа «Защита ВКР». Таблица содержит информацию о теме ВКР, ФИО руководителя, его оценке и типе темы по каждому студенту. Этот документ заполняется каждый студентом самостоятельно.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1						Темы ВКР		
2	№	ФИО	Тема ВКР (строго как на титульном листе!)	ФИО руководителя	Оценка научного руководителя	выполнена по теме, предложенной студентом	выполнена по заявке предприятия/организации	относится к области фундаментальных и поисковых научных исследований
3	1	Киреева Мария Сергеевна	Разработка и внедрение системы управленческой отчетности на базе 1С: Бухгалтерия 8.3 для компании по производству корпусной мебели	Матвеев М.Г.	5	+		
4	2	Варлыгин Дмитрий Александрови	Повышение качества бизнес-процессов медучреждений с применением рекомендательной системы подбора лекарств на основе LLM с использованием дистилляции знаний	Илларионов Игорь Владимирович	4	+		
5	3	Налетова Елена Михайловна	Разработка системы анализа финансовой состоятельности предприятия малого бизнеса	Копытин Алексей Вячеславович	5	+		
6	4	Воронков Андрей Алексеевич	Управление проектом и распределение ресурсов с помощью моделей и методов сетевого планирования	Алейникова Наталья Александровна	5	+		
7	5	Слободчикова Мария Сергеевна	Разработка сервиса поддержки принятия решений по выбору телефона с использованием эконометрических оценок	Алейникова Наталья Александровна	4	+		
8	6	Черенкова Юлия Сергеевна	Интеграция SAP Hybris с SAP MDG	Илларионов Игорь Владимирович	5	+		
9	7	Долгих Тимофей Андреевич	Разработка аналитической системы вакансий на рынке труда	Илларионов Игорь Владимирович	5	+		
10	8	Лебеда Даниил Александрович	Разработка интернет-магазина на языке Python для компании «Shisha Life»	Алейникова Наталья Александровна	4		+	

Рис. 1. Фрагмент заполненного документа «Защита ВКР»

Документ «Защита ВКР» секретарь загружает в систему и заполняет необходимые поля в форме для ввода информации по предстоящим комиссиям.

Система заполняет таблицу в базе данных по полученной информации из загруженного документа. Заполненная таблица представлена на рис. 2.

	id	fio	theme	fio	mark_head	tl	th	th
1	45	Киреева Мария Серге	Разработка и внедрение системы управленческо	Матвеев І	5	+		
2	46	Варлыгин Дмитрий Ал	Повышение качества бизнес-процессов медучре	Илларио	4	+		
3	47	Налетова Елена Михаі	Разработка системы анализа финансовой состоя	Копытин .	5	+		
4	48	Воронков Андрей Але	Управление проектом и распределение ресурсов	Алейнико	5	+		
5	49	Слободчикова Мария	Разработка сервиса поддержки принятия решени	Алейнико	4	+		
6	50	Черенкова Юлия Серг	Интеграция SAP Hybris с SAP MDG	Илларио	5	+		
7	51	Долгих Тимофей Андр	Разработка аналитической системы вакансий на	Илларио	5	+		
8	52	Лебеда Даниил Алекс	Разработка интернет-магазина на языке Python д	Алейнико	4		+	
9	53	Половинченко Мария	Автоматизация процессов организации доставки	Копытин .	4	+		
10	54	Пирагов Александр П	Обеспечение ссылочной целостности в SAP S/4 H	Илларио	5	+		
11	55	Емельянов Геннадий А	Разработка веб-интерфейса электронной систем	Илларио	5	+		
12	56	Михайлова Полина Ал	Моделирование угроз и управление организацио	Воронцов	5	+		
13	57	Кузнецов Владислав Е	Организация защиты персональных данных при и	Филиппо	4	+		
14	58	Крупчак Дмитрий Ром	Прогнозирование потребления электроэнергии с	Копытин .	5	+		

Рис. 2. Фрагмент заполненной таблицы в БД

Перед реализацией логики программного продукта был проведен анализ документов, сопутствующих процессу ГИА ФГБОУ ВО ВГУ. Для заседаний экзаменационной комиссии нужны следующие документы:

1. Оценочный лист ВКР;
2. Протокол заседания ГЭК по программе с приложением по защите ВКР по каждому студенту;
3. Протокол заседания ГЭК о присвоение квалификации выпускникам с приложением;
4. Результаты защиты ВКР по направлению.

При анализе внимание уделялось тем местам документа, которые возможно автоматизировать. Например, на рис. 3 представлены проанализированные документы.

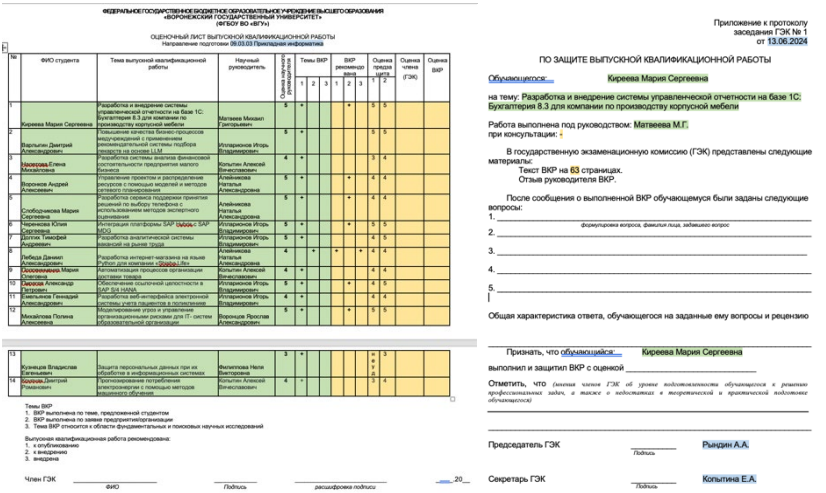


Рис. 3. Анализ документов

Зелёным выделена информация, которая заполняется данными из таблицы Excel «Защита ВКР», синим – информация, введённая в форме на странице веб-приложения, а желтым – вручную. Не выделенные части документа формируют его шаблон.

Автоматическое заполнение документа «Оценочный лист ВКР» происходит по его шаблону, который представлен на рис. 4.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

ОЦЕНОЧНЫЙ ЛИСТ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
Направление подготовки {{direction}}

№	ФИО студента	Тема выпускной квалификационной работы	Научный руководитель	Оценка научного руководителя	Темы ВКР			ВКР рекомендована			Оценка предзащита		Оценка члена (ГЭК)	Оценка ВКР
					1	2	3	1	2	3	1	2		
{{count}}	{{fio}}	{{theme}}	{{fio_head}}	{{mark_head}}	{{theme_flag_1}}	{{theme_flag_2}}	{{theme_flag_3}}							

Темы ВКР
1. ВКР выполнена по теме, предложенной студентом
2. ВКР выполнена по заявке предприятия/организации
3. Тема ВКР относится к области фундаментальных и поисковых научных исследований

Выпускная квалификационная работа рекомендована:
1. к опубликованию
2. к внедрению
3. внедрена

Член ГЭК _____ _____ _____ «__» 20__
ФИО Подпись расшифровка подписи

Рис. 4. Шаблон документа «Оценочный лист ВКР»

Фрагмент сгенерированного документа представлен на рис. 5.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

ОЦЕНОЧНЫЙ ЛИСТ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
Направление подготовки 09.03.03 Прикладная информатика

№	ФИО студента	Тема выпускной квалификационной работы	Научный руководитель	Оценка научного руководителя	Темы ВКР			ВКР рекомендована			Оценка предзащита		Оценка члена (ГЭК)	Оценка ВКР
					1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Киреева Мария Сергеевна	Разработка и внедрение системы управленческой отчетности на базе 1С: Бухгалтерия 8.3 для компании по производству корпусной мебели	Матвеев М.Г.	5	+									
2	Варлыгин Дмитрий Александрович	Повышение качества бизнес-процессов медучреждений с применением рекомендательной системы подбора лекарств на основе LLM с использованием дистилляции знаний	Илларионов Игорь Владимирович	4	+									
3	Налетова Елена Михайловна	Разработка системы анализа финансовой состоятельности предприятия малого бизнеса	Копытин Алексей Вячеславович	5	+									
4	Воронков Андрей Алексеевич	Управление проектом и распределение ресурсов с помощью моделей и методов сетевого планирования	Алейникова Наталья Александровна	5	+									
5	Слободчикова Мария Сергеевна	Разработка сервиса поддержки принятия решений по выбору телефона с использованием эконометрических оценок	Алейникова Наталья Александровна	4	+									
6	Черенкова Юлия Сергеевна	Интеграция SAP Hybris с SAP MDG	Илларионов Игорь Владимирович	5	+									
7	Долгих Тимофей Андреевич	Разработка аналитической системы вакансий на рынке труда	Илларионов Игорь Владимирович	5	+									
8	Лебеда Даниил Александрович	Разработка интернет-магазина на языке Python для компании «Shisha Life»	Алейникова Наталья Александровна	4		+								
9	Пирагов Александр Петрович	Обеспечение ссылочной целостности в SAP S/4 HANA	Илларионов Игорь Владимирович	5	+									
10	Емельянов Геннадий Александрович	Разработка веб-интерфейса электронной системы учета пациентов в поликлинике	Илларионов Игорь Владимирович	5	+									
11	Михайлова Полина Алексеевна	Моделирование угроз и управление организационными рисками для IT-систем образовательной организации	Воронцов Ярослав Александрович	5	+									

Рис. 5. Шаблон документа «Оценочный лист ВКР»

Заполнение остальных документов реализовано в системе по аналогии с описанным выше примером.

Заключение

В данной статье была рассмотрена реализация системы генерации документов, сопутствующих процессу ГИА ФГБОУ ВО ВГУ.

Разработанные функциональные возможности соответствует всем поставленным требованиям. В будущем планируется расширение функциональности данного программного продукта.

Список литературы

1. Бордюжа, Е. О. Разработка информационной системы, автоматизирующей генерацию шаблонов документов, сопутствующих прохождению учебных практик ФКН ФГБОУ ВО "ВГУ" / Е. О. Бордюжа, Е. А. Копытина, Н. С. Богданова // Труды молодых учёных факультета компьютерных наук ВГУ : Сборник статей. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2024. – С. 18-25. – EDN ITOFPW.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661037 Российская Федерация. Приложение для автоматизации документооборота дополнительного образования : № 2023618813 : заявл. 03.05.2023 : опубл. 25.05.2023 / А. С. Голышева, Е. А. Копытина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». – EDN NBUVMM.

3. Претков, А. И. Автоматизации формирования документов основных профессиональных образовательных программ высшего образования факультета компьютерных наук Воронежского государственного университета / А. И. Претков, Е. А. Копытина // Труды молодых учёных факультета компьютерных наук ВГУ : Сборник статей. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2023. – С. 94-107. – EDN HKXMIS.

4. Зобнин, Ю. А. Разработка и внедрение автоматизированных информационных систем на предприятии / Ю. А. Зобнин, А. С. Еропкина, О. В. Рындина. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2021. – 148 с. – ISBN 978-5-9961-2750-4. – EDN CHNGAD.

5. Бутовецкая, С. И. Разработка информационной системы факультета компьютерных наук ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет" / С. И. Бутовецкая, Е. А. Копытина // Труды молодых учёных факультета компьютерных наук ВГУ : Сборник статей. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2024. – С. 34-41. – EDN XPWOAR.

6. Ишкова, А. Д. Использование микросервисной архитектуры на основе Spring boot и Spring Cloud (Netflix) в реальных проектах / А. Д. Ишкова, Д. Я. Смирнов, О. Г. Яскевич // Интеллектуальные информационные системы : труды Международной научно-практической конференции, Воронеж, 08–10 декабря 2022 года. –

Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. – С. 141-143.

7. Хемраджани, А. Гибкая разработка приложений на Java с помощью Spring, Hibernate и Eclipse / А. Хемраджани ; Анил Хемраджани ; [пер. с англ. и ред. В. А. Коваленко]. – Москва [и др.] : Вильямс, 2008. – 344 с. – ISBN 978-5-8459-1375-3. – EDN QMSDCD.

Выбор архитектуры нейросетевого аппроксиматора для метода последовательных приближений

А. В. Бутрин, email: gfdhj2013@ya.ru

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Аннотация. *В данной работе проанализирована способность нейросетевых архитектур FNN, FNN с TDL, RNN Элмана, MGU, GRU, LSTM и TCN выявлять сложные закономерности во временных рядах с целью создания универсального нейросетевого аппроксиматора матриц частных производных по состояниям и по управляющим воздействиям для поиска квазиоптимального управления методом последовательных приближений Крылова и Черноусько в условиях неполноты или отсутствия математического описания объекта управления, а эффективность выбранной архитектуры в решении данной задачи продемонстрирована на конкретном примере.*

Ключевые слова: *искусственная нейронная сеть, система автоматического управления, метод последовательных приближений, аппроксиматор.*

Введение

В наши дни неполнота и недостаточная достоверность математического описания объектов управления (ОУ) являются закономерным результатом всестороннего усложнения технических комплексов, но непосредственно повысить его точность часто бывает трудоёмко, ресурсозатратно или даже невозможно. В таких случаях обычно неприменимы классические методы синтеза систем автоматического управления, однако можно использовать искусственные нейронные сети (ИНС) благодаря их свойству универсальных аппроксиматоров. Один из подходов к их применению для поиска квазиоптимального управления в случае неполноты или отсутствия математического описания ОУ будет рассмотрен в данной работе…

1. Математическая формулировка проблемы неполноты или отсутствия математического описания объекта управления

Итерационный метод последовательных приближений Крылова и Черноусько является популярным численным методом решения задач оптимального управления динамическими системами. В нём дифференциальные уравнения ОУ интегрируются «слева направо»

© Бутрин А. В., 2025

(вперёд во времени) при начальных условиях в начальный момент времени, затем с полученными данными «справа налево», то есть как бы назад во времени, интегрируется сопряжённая система при начальных условиях в конечный момент времени, а затем находится новое приближение оптимального управления из принципа максимума Понтрягина, то есть максимизацией гамильтониана по управляющим воздействиям [1-3]. Динамика ОУ определяется формулами (1) и (2).

Матрица Якоби ОУ по координатам будет иметь вид (1).

$$\mathbf{J_x} = \frac{\partial \vec{\mathbf{f}}(x,u,t)}{\partial \vec{\mathbf{x}}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\mathbf{J_x}$ – матрица частных производных (якобиан) по координатам, $\vec{\mathbf{x}} = (x_1 \ldots x_n)$ – вектор-функция фазовых координат x размерности n от времени t, $\vec{\mathbf{u}} = (u_1 \ldots u_m)$ – вектор-функция управляющих воздействий u размерности m от времени t, $\vec{\mathbf{f}}(x,u,t)$ – общая вектор-функция управляющих воздействий u, фазовых координат x и времени t с числом переменных $(n+m+1)$, t – время.

Матрица Якоби ОУ по управляющим воздействиям будет иметь вид (2).

$$\mathbf{J_u} = \frac{\partial \vec{\mathbf{f}}(x,u,t)}{\partial \vec{\mathbf{u}}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial u_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial u_m} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\mathbf{J_u}$ – матрица частных производных (якобиан) по управляющим воздействиям.

В условиях неполноты или отсутствия математического описания ОУ нейросетевой аппроксиматор может быть обучен на вычисление этих матриц в ответ на сигналы времени, управляющих воздействий и координат. В этом случае необходимо изучить и решить вопрос выбора оптимальной архитектуры ИНС для данной задачи…

2. Анализ нейросетевых архитектур

Простейшей нейросетевой архитектурой являются ИНС прямого распространения (FNN), где сигнал идёт строго от входного слоя к выходному, но не распространяется в обратном направлении, а информация не задерживается как-либо ещё внутри самих нейронов или каких-либо других структур ИНС. FNN хорошо решают задачи прогнозирования, распознавания и сортировки, однако у них нет возможностей в области решения тех задач, где так или иначе нужно анализировать свои предыдущие состояния или предыдущие входные данные, поскольку они сами по себе не могут «помнить» информацию. Началом для рассуждений, касающихся выбора ИНС для аппроксимации матриц частных производных, может стать теорема Цыбенко, согласно которой при оптимальном подборе количества нейронов скрытого слоя и их параметров любая непрерывная функция сколь угодно точно может быть аппроксимирована FNN с одним скрытым слоем [4].

FNN с одним скрытым слоем описывается системой (3).

$$\begin{cases} \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t}) = f_h(\mathbf{W_{hx}} * \vec{\mathbf{x}}(\mathbf{t}) + \vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{h}}), \\ \vec{\mathbf{y}}(\mathbf{t}) = f_y(\mathbf{W_{yh}} * \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t}) + \vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{y}}), \end{cases} \tag{3}$$

где $\vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t})$ – вектор-функция сигналов от нейронов скрытого слоя, $\vec{\mathbf{y}}(\mathbf{t})$ – вектор-функция сигналов от нейронов выходного слоя, f_h – функция активации нейронов скрытого слоя, f_y – функция активации нейронов выходного слоя (часто является тождественной), $\mathbf{W_{hx}}$ – матрица весовых коэффициентов нейронов скрытого слоя, $\mathbf{W_{yh}}$ – матрица весовых коэффициентов нейронов выходного слоя, $\vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{h}}$ – вектор смещений нейронов скрытого слоя, $\vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{y}}$ – вектор смещений нейронов выходного слоя.

Однако, ввиду сложности современных ОУ, важно, чтобы нейросеть могла аппроксимировать и разрывные функции. Кроме того, FNN без модификаций может быть очень хорошим статическим нейросетевым эмулятором, но в случае динамических систем для учёта временных зависимостей необходимо усложнение самой архитектуры.

В простейшем же случае аппроксиматором динамики ОУ может выступать FNN с линиями задержек сигналов по времени (TDL),

которые позволяют внести в неё динамику. Их количество и положение в системе не регламентировано строгими формулами и зачастую подбирается экспериментально, однако в случае нейросетевого эмулятора их количество не должно быть меньше порядка ОУ, а зачастую их должно быть значительно больше, что позволит лучше «чувствовать» его динамику. Их периоды, как правило, должны быть кратны минимальному. Выходной сигнал такой ИНС будет дискретизирован по времени, причём шаг дискретизации будет соответствовать минимальному периоду TDL. Кроме того, максимальный их период должен быть больше или равен постоянной времени объекта. В противном случае ИНС может выдать выходной сигнал с очень большой ошибкой или вовсе окажется не в состоянии воспроизводить динамику ОУ, поскольку не сможет её отследить.

Однако в долгосрочной перспективе применение FNN с TDL не будет оптимальным выбором. У столь простого и вычислительно лёгкого решения существуют такие недостатки как отсутствие явного механизма управления памятью, невозможность улавливать долгосрочные зависимости, уязвимость к зашумлённым данным, необходимость идти на компромиссы при настройке параметров временных задержек, чрезмерное усложнение нейросети при большом количестве TDL и сложности аппроксимируемых зависимостей, но главный её недостаток, как известно, в том, что она показывает стабильную работоспособность только, как максимум, при гладких нелинейностях, а, например, при нескольких последовательных звеньях с ограничителями FNN с TDL не сможет выполнять интегрирование фазовых переменных при достижении, как минимум, двух ограничителей, что исключает этот вариант из планов дальнейшей работы [5].

Более радикальный и сложный подход к решению поставленной задачи – это применение рекуррентных нейронных сетей (RNN). Они отличаются от FNN тем, что имеют в своём составе обратные связи, которые дают им возможность как бы хранить внутри себя полученную ранее информацию и успешно использовать её для решения последующих задач. Помимо входных и выходных векторов они также оперируют своим скрытым состоянием. Благодаря этому такие ИНС хорошо справляются с обработкой последовательностей (например, временные ряды, что важно в контексте данной работы) и могут обучаться на основе своего предыдущего опыта. Это делает возможным предсказание ими будущих значений обрабатываемых последовательностей. Из этого преимущества RNN само собой вытекает другое: их способность к обобщению информации. Такая гибкость и

функциональность делает RNN очень перспективным направлением развития ИНС. Данная цикличность работы позволяет в этом случае RNN анализировать информацию о прошлом и, таким образом, работать с большими массивами данных. Простейшая RNN (RNN Элмана) состоит входных и выходных нейронов, которые зачастую имеют тождественную функцию активации и в этом аспекте не отличаются от таковых в FNN, а также из нейронов с внутренними обратными связями, которые располагаются в скрытых слоях RNN.

RNN Элмана с одним скрытым слоем описывается системой (4).

$$\begin{cases} \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t}) = f_h(\mathbf{W_{hx}} * \vec{\mathbf{x}}(\mathbf{t}) + \mathbf{W_{hh}} * \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t-1}) + \vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{h}}), \\ \vec{\mathbf{y}}(\mathbf{t}) = f_y(\mathbf{W_{yh}} * \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t}) + \vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{y}}), \end{cases} \quad (4)$$

где $\mathbf{W_{hh}}$ – матрица весовых коэффициентов обратных связей нейронов скрытого слоя.

Вне зависимости от числа скрытых слоёв использование RNN Элмана не может быть оптимальным выбором для задачи предсказания временных рядов со сложными зависимостями по целому ряду ограничений данной архитектуры. Например, первое уравнение системы (4) обуславливает «эффект забывания», когда информация, полученная сравнительно давно, быстро стирается и заменяется новой, поэтому такие ИНС склоны делать предсказания только исходя из недавних временных шагов. Наиболее же значимой проблемой RNN Элмана являются эффекты затухания и взрыва градиентов. Поскольку RNN используют для обучения метод обратного распространения ошибки во времени, когда ошибка проходит через весь временной ряд, то градиенты могут становиться чрезвычайно малыми или чрезвычайно большими, что особенно часто проявляется при длинных временных рядах, поскольку обновление происходит мультипликативно.

Одной из самых эффективных методик решения данной проблемы является выделение необходимой информации в отдельный поток и её последующий контроль в нём при помощи вентилей, что реализовано в вентильных ИНС, благодаря чему обновление происходит аддитивно, поэтому изменение градиентов ограничено самой архитектурой. Наиболее распространёнными примерами являются такие разновидности ИНС как MGU, GRU и LSTM. Все они в значительной степени похожи друг на друга, поскольку первые две архитектуры – это упрощённые версии третьей, созданные для экономии вычислительных мощностей за счёт сокращения количества вентилей при попытке удержания качества аппроксимации информации на том же уровне, что, однако, достигается не всегда, поэтому для предсказания временных

рядов со сложными зависимостями LSTM и её усложнённые модификации часто бывают оптимальным выбором среди вентильных ИНС. Ниже представлено математическое описание LSTM [6].

Слой LSTM блоков описывается системой (5).

$$\begin{cases} \vec{\mathbf{g}}(\mathbf{t}) = \mathrm{tg}(\mathbf{W_{gx}} * \vec{\mathbf{x}}(\mathbf{t}) + \mathbf{W_{gh}} * \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t-1}) + \vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{g}}), \\ \vec{\mathbf{i}}(\mathbf{t}) = \sigma(\mathbf{W_{ix}} * \vec{\mathbf{x}}(\mathbf{t}) + \mathbf{W_{ih}} * \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t-1}) + \vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{i}}), \\ \vec{\mathbf{o}}(\mathbf{t}) = \sigma(\mathbf{W_{ox}} * \vec{\mathbf{x}}(\mathbf{t}) + \mathbf{W_{oh}} * \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t-1}) + \vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{o}}), \\ \vec{\mathbf{f}}(\mathbf{t}) = \sigma(\mathbf{W_{fx}} * \vec{\mathbf{x}}(\mathbf{t}) + \mathbf{W_{fh}} * \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t-1}) + \vec{\mathbf{b}}_{\mathbf{f}}), \\ \vec{\mathbf{s}}(\mathbf{t}) = \vec{\mathbf{g}}(\mathbf{t}) \otimes \vec{\mathbf{i}}(\mathbf{t}) + \vec{\mathbf{s}}(\mathbf{t-1}) \otimes \vec{\mathbf{f}}(\mathbf{t}), \\ \vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t}) = \mathrm{tg}(\vec{\mathbf{s}}(\mathbf{t})) \otimes \vec{\mathbf{o}}(\mathbf{t}), \end{cases} \quad (5)$$

где $\vec{\mathbf{g}}(\mathbf{t})$, $\vec{\mathbf{i}}(\mathbf{t})$ – векторы-функции сигналов от вентилей обновления информации в канале клеточного состояния, $\vec{\mathbf{o}}(\mathbf{t})$ – вектор-функция сигналов от нейрона на канал выходного сигнала, $\vec{\mathbf{f}}(\mathbf{t})$ – вектор-функция сигналов от вентиля забывания информации из канала клеточного состояния, $\vec{\mathbf{s}}(\mathbf{t})$ – вектор-функция клеточного состояния, $\vec{\mathbf{h}}(\mathbf{t})$ – вектор-функция выходных сигналов, $\mathbf{W}$ – матрица весовых коэффициентов соответствующих нейронов, $\vec{\mathbf{b}}$ – вектор смещений соответствующих нейронов.

Сильной альтернативой LSTM, GRU и другим вентильным сетям являются временные свёрточные сети (TCN), которые, опять же, предназначаются для обработки последовательных данных. Эти ИНС являются адаптацией к таким задачам свёрточных нейронных сетей (CNN), предназначенных для обработки двумерных данных (например, изображений). Соответственно, если в CNN используются двумерные свёртки, которые не предназначены для учёта временных зависимостей, то в TCN – одномерные, однако они работают таким образом, чтобы при прогнозах использовались элементы векторов только из прошлых временных шагов и текущего временного шага.

Согласно этому принципу, для TCN характерен параллелизм в обработке информации, поскольку фильтр последовательно принимает на вход вектор входных данных из временного ряда, шаг за шагом двигаясь от прошлых значений к будущим, что ускоряет обучение и обработку информации. Также в этой ИНС зачастую все слои, начиная со второго, используют расширение, то есть работают с разнесёнными во времени значениями, что позволяет напрямую «видеть» долгосрочные зависимости в данных. От слоя к слою коэффициент

расширения обычно должен расти экспоненциально для достижения максимальной эффективности в обработке информации, хотя в этом случае дополнительно приходится производить расчёты для избегания проблемы разрывов рецептивного поля. В противном случае зависимость минимального количества требуемых слоёв от длин временного ряда и ядра свёртки будет линейной, что приведёт к быстрому росту TCN вглубь и нецелесообразным вычислительным затратам. Таким образом, с ростом числа слоёв TCN растёт и её рецептивное поле, поэтому такие ИНС сравнительно легко масштабируются, но при использовании глубоких сетей и больших рецептивных полей вычислительные затраты могут оказаться весьма существенными, а большое количество гиперпараметров делает такие ИНС «жадными» к обучающим данным и склонными к переобучению, поэтому они не подходят для работы с малыми объёмами данных.

Защитой от проблем градиентного взрыва и градиентного затухания служат остаточные связи в слоях, которые предназначены для поэлементного суммирования входных и выходных векторов. Также они помогают лучше учитывать и согласовывать глобальные и локальные зависимости. Для таких случаев необходимо дополнительно контролировать равенство длин векторов, поскольку от слоя к слою их длины в большинстве случаев сокращаются. Простейшим способом избежать данной проблемы являются отсечка лишних значений входного вектора или дополнение выходного вектора нулями, но можно также использовать матрицу для линейного преобразования входного сигнала. Обратные связи в TCN отсутствуют, поскольку порядок событий учитывается не ими, а самой архитектурой, что позволяет успешно передавать градиенты на большую глубину.

Математическое описание выходного сигнала из слоя TCN описывается формулой (6).

$$\mathbf{Y(t,c)} = f\left(\sum_{i=0}^{k-1}\sum_{j=1}^{C_{in}}(\mathbf{W(c,j,i)} * \mathbf{X(t-d*i,j)} + \vec{\mathbf{b}}(\mathbf{c}))\right) + (\mathbf{W_{res}} * \vec{\mathbf{x}}(\mathbf{t}))_c, \quad (6)$$

где $\mathbf{Y} \in \Re^{T*C_{Out}}$ – выходная матрица, $\mathbf{X} \in \Re^{T*C_{In}}$ – входная матрица, T – длина временного ряда, C_{Out} – количество выходных каналов, C_{In} – количество входных каналов, f – функция активации, $\mathbf{W} \in \Re^{C_{Out}*C_{In}*k}$ – ядро фильтра (матрица весовых коэффициентов), c – индекс

выходного канала, j – индекс входного канала, i – индекс по ширине фильтра (индекс элемента фильтра вдоль временной оси), k – размер фильтра, t – момент времени для которого вычисляется выходной результат, d – коэффициент расширения для данного слоя, b – коэффициент смещения для выходного канала соответствующего индекса, $W_{res} \in \Re^{C_{Out} * C_{In}}$ – матрица для линейного преобразования входного сигнала.

Несмотря на столь значимые преимущества TCN, они имеют существенные недостатки, которые напрямую вытекают из принципа их работы. Например, из-за отсутствия явных механизмов управления памятью, работа TCN менее интерпретируема, чем LSTM, GRU и MGU, из-за чего поведение первых бывает менее предсказуемым. Кроме того, желаемое рецептивное поле определяется архитектурой таких ИНС (размером ядра, степенью расширения, глубиной сети и так далее) и настраивается под конкретную задачу и под конкретные временные ряды. Их способность адаптироваться к изменяющимся длинам векторов входных данных и, тем более, к изменяющимся временным интервалам между элементами векторов весьма ограничена. Предварительная обработка данных в виде уравнивания размеров векторов через аппроксимацию или, тем более, через добавление нулей может повлиять на точность прогнозирования. С другой стороны, LSTM, GRU и MGU могут весьма гибко «забывать» и «запоминать» информацию благодаря вентильным системам. Они имеют известные проблемы с анализом особенно длинных временных рядов, но они не требуют строгого уравнивания векторов по длине, что желательно для TCN.

3. Аппроксимация матриц частных производных

На основании всего вышеизложенного можно сделать вывод, что TCN в качестве аппроксиматора матриц частных производных для метода последовательных приближений могут быть оптимальны только в том случае, если имеется возможность уравнивания длин векторов, поступающих в ИНС, как из обучающих, так и из тестовых и рабочих наборов данных. В противном случае для этой задачи следует использовать аппроксиматор на основе LSTM, поскольку вентильные ИНС могут успешно адаптироваться к векторам переменной длины. Кроме того, они способны лучше улавливать сложные зависимости во временных рядах, хотя формирование обобщённых требований к настройке и структуре таких ИНС может представлять собой весьма сложную задачу. На нижеприведённом рисунке проиллюстрирована

максимизация координаты ОУ методом последовательных приближений без модификаций и с аппроксиматором на основе LSTM. В обоих случаях были получены одинаковые результаты, и функционал принял наименьшее значение, что подтверждает правильность предложенного подхода.

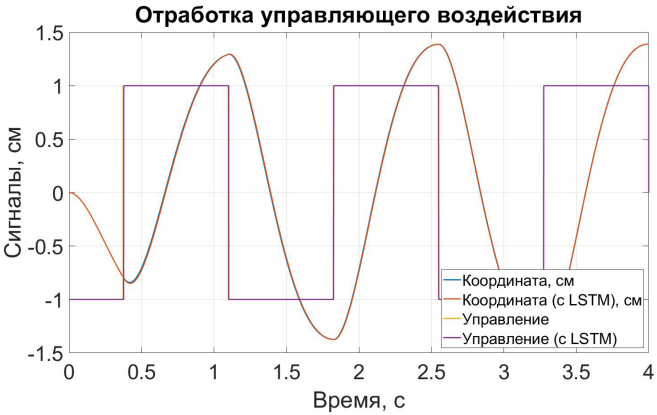


Рисунок. Максимизация выходной координаты ОУ до наибольшего значения в 1.39 см

Заключение

В ходе данной работы была проанализирована способность нейросетевых архитектур FNN, FNN с TDL, RNN Элмана, MGU, GRU, LSTM и TCN выявлять сложные закономерности во временных рядах с целью создания универсального нейросетевого аппроксиматора матриц частных производных по состояниям и по управляющим воздействиям для поиска квазиоптимального управления методом последовательных приближений Крылова и Черноусько в условиях неполноты или отсутствия математического описания объекта управления. Было выявлено, что в большинстве случаев следует использовать аппроксиматор на основе LSTM, что было подтверждено успешным примером его использования в задаче поиска оптимального управления.

Список литературы

1. Крылов, И. А. Алгоритм метода последовательных приближений для задач оптимального управления / И. А. Крылов, Ф. Л. Черноусько // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 1972. – Т 12. № 1. – С. 14-34.

2. Крылов, И. А. О методе последовательных приближений для решения задач оптимального управления / И. А. Крылов, Ф. Л. Черноусько // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 1962. – Т 2. – № 6. – С. 1132-1139.

3. Розоноэр, Л. И. Принцип максимума Л. С. Понтрягина в теории оптимальных систем. I / Л. И. Розоноэр // Автомат. и телемех. – Т 20. – №10. – С. 1320-1334.

4. Cybenko, G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function / G. Cybenko // Mathematics of Control, Signals, and Systems. – 1989. – Т. 2. – № 4. – С. 303-314.

5. Хапкин, Д. Л. Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями: дис. канд. техн. наук 2.3.1. – ТулГУ, Тула, 2023. – 142 с.

6. Записная книжка: компьютерное зрение, машинное обучение, нейронные сети и т.д. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vbystricky.ru/2021/05/rnn_lstm_gru_etc.html

7. Бураков, М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учебное пособие. Нейронные сети и нейроконтроллеры / М. В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2013. – 282 с.

8. Чернодуб, А. Н. Обзор методов нейроуправления / А. Н. Чернодуб, Д. А. Дзюба // Проблемы программирования. – 2011. – № 2. – С. 79-94.

Система поддержки принятия решений для подбора элементов оборудования технологической линии переработки рудного сырья на основе метаэвристик

М. Ю. Воротилова, email: rita.vorotilova@mail.ru,
О. В. Булыгина, Б. В. Окунев

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

Аннотация. *В статье предложен подход к автоматическому подбору элементов оборудования для построения технологической линии переработки рудного сырья на основе гибридизации метаэвристического алгоритма, моделирующего поведение косяка рыб, и нейро-нечеткого классификатора, а также приведены результаты его практического использования.*

Ключевые слова: *технологическая линия переработки рудного сырья, автоматизация подбора элементов оборудования, многомерная оптимизация, метаэвристические алгоритмы, алгоритм поиска «косяком рыб», нейро-нечеткий классификатор.*

Введение

Технологическая линия по производству окускованного рудного концентрата (агломерата) включает в себя множество этапов: от измельчения рудного сырья (до состояния мелкодисперсной массы) до разделения сыпучего материала по фракциям (агломерат, «постель» и «возврат»). Для обработки переделов на каждой из стадий используются различные виды высокотехнологичного оборудования.

Современные технологические линии представляют собой сложные интегрированные системы, в которых каждый элемент должен эффективно взаимодействовать с другими компонентами для обеспечения бесперебойной работы всего комплекса. При модернизации технических решений линии производства необходимо учитывать каждый отдельный элемент оборудования, так как «неверный» выбор даже одного из них может привести к снижению эффективности всей производственной цепочки. Поэтому при подборе компонентов производственных агрегатов важно принимать во внимание множество критериев отбора (например, производительность, энергопотребление, размеры, стоимость, надежность составляющих и их совместимость с другими элементами линии).

© Воротилова М. Ю., Булыгина О. В., Окунев Б. В., 2025

Пренебрежение данными критериями может привести к существенному снижению мощности всей технологической линии, повышению энергопотребления и более быстрому износу оборудования, а несовместимость элементов оборудования после запуска линии потребует значительных финансовых затрат на их замену, а также потерь из-за производственного простоя.

Анализ множества зависимых характеристик усложняет выполнение процесса вручную, делая его трудоемким и длительным. Необходимость учета специфики каждой технологической линии ставит перед исполнителем дополнительные требования. Данные факторы еще больше усложняют задачу подбора элементов, что увеличивает риски принятия нерациональных технических решений из-за необходимости одновременного учета всех значимых параметров и их взаимного влияния при ручном проектировании. В связи с этим внедрение автоматизированных методов подбора оборудования становится критически важным фактором успешного проектирования современных технологических линий.

Существующие на сегодняшний день методы автоматизации проектирования технологической линии можно разделить на несколько основных категорий: системы автоматизированного проектирования (САПР), экспертные системы и классические методы. Первый класс систем включает инструменты для формирования технической документации и моделирования компонентов линии, тем не менее они н не позволяют учитывать взаимосвязи между отдельными элементами оборудования. Экспертные системы могут лишь предлагать решения для формирования набора элементов на основе заранее заложенных экспертных знаний. Классические методы, такие как линейное программирование и градиентный спуск, трудно применимы для задач многомерной оптимизации ввиду их высокой размерности.

Таким образом, существующие методы автоматизированного проектирования технологической линии не подходят для решения выявленной проблемы. В связи с этим возникает необходимость разработки нового подхода к подбору элементов оборудования с учетом специфических требований многостадийного производства. Предполагается, что он должен учитывать не только характеристики отдельных элементов, но и их взаимосвязь, что позволит повысить эффективность проектирования технологической линии.

1. Выбор методов для решения поставленной задачи

Для решения описанной задачи могут использоваться метаэвристические алгоритмы, которые относятся к стохастическим методам и основываются на принципах функционирования природных

систем. Ключевым преимуществом является возможность исследования многомерных пространств поиска с учетом различных ограничений.

В [1] предложена классификация метаэвристических алгоритмов, разделяющая их по типу природных систем, процессов или явлений, лежащих в их основе. Ее авторами выделяется пять базисов для построения алгоритмов: естественная эволюция, социальное поведение человека, физические и химические явления, жизненные стратегии растений и коллективное поведение живых организмов. Наиболее многочислен последний класс, также называемый роевым интеллектом, который включает четыре категории (наземные, водные, летающие животные и микроорганизмы).



Рис. 1. Классификация метаэвристических алгоритмов по разделению на природные и популяционные явления

Для решения рассматриваемой задачи подбора элементов оборудования для технологической линии переработки рудного сырья предлагается использовать алгоритм поиска «косяком рыб» (Fish School Search – FSS), предложенный Б. Фило и Л. Нето в 2008 году [2]. Он моделирует ключевые паттерны (индивидуальный и коллективный) поведения рыб в стае. Индивидуальное поведение выражается в стремлении каждой рыбы оставаться на безопасном расстоянии от соседей, а коллективное – в притяжении косяка к зонам с большей концентрацией пищи. Отличительной особенностью алгоритма является

наличие веса у каждой рыбы-агента. При падении веса ниже заданного минимума рыба удаляется из популяции. Критериями останова служат достижение заданного числа итераций или точности решения.

Движение рыб в косяке определяется тремя основными операторами.

2. Индивидуальное движение, заключающееся в случайном исследовании каждой рыбой окрестности своей текущей позиции в поиске пищи, что определяется формулой (1):

$$x_i(t+1) = x_i(t) + step_{ind} * rand(-1,1) \quad (1)$$

где $x_i(t)$ – текущая позиция i-той рыбы;
$x_i(t+1)$ – новая позиция i-той рыбы;
$step_{ind}$ – размер шага индивидуального движения (параметр алгоритма);
rand(-1,1) – случайное число в диапазоне [-1,1].

Новая позиция $x_i(t+1)$ принимается только в том случае, если изменение положения приводит к улучшению приспособленности i-той рыбы. В противном случае, текущая позиция рыбы $x_i(t)$ не изменяется, и новая позиция приравнивается текущей $x_i(t + 1) = x_i(t)$.

3. Коллективно-инстинктивное движение, которое определяет тенденцию движения рыб в направлении лидера косяка по формуле (2):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{N} \Delta x_i * \Delta f_i}{\sum_{i=1}^{N} \Delta f_i} \quad (2)$$

где I – средневзвешенное значение перемещений каждой рыбы;
Δx_i – изменение позиции i-той рыбы на предыдущей итерации,
Δf_i – изменение значения целевой функции i-той рыбы.

Таким образом, если рыба улучшила свою позицию, то она будет привлекать других на свою текущую позицию. После вычисления вектора I каждая рыба будет побуждена к перемещению по формуле (3):

$$x_i(t+1) = x_i(t) + I \quad (3)$$

4. Коллективно-волевое движение, которое обеспечивает сплоченность косяка путем направления рыб к общему центру масс с целью избежания чрезмерного рассеивания решений в пространстве поиска, что определяется формулой (4):

$$B(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N} \Delta x_i(t) * W_i(t)}{\sum_{i=1}^{N} W_i(t)} \quad (4)$$

где $B(t)$ – центр масс косяка в момент времени t;
$\Delta x_i(t)$ – изменение позиции i-той рыбы в момент времени t,

$W_i(t)$ – вес i-той рыбы в момент времени t,
N – общее количество рыб в косяке.

Если общий вес, определяемый суммой весов всех N рыб, увеличился по сравнению с предыдущей итерацией, то рыбы притягиваются к барицентру по формуле (5). Если суммарный вес не изменился, то они удаляются согласно формуле (6):

$$x_i(t+1) = x_i(t) + step_{vol} * rand(0,1) * \frac{x_i(t) - B(t)}{\text{distance}(x_i(t), B(t))} \quad (5)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) - step_{vol} * rand(0,1) * \frac{x_i(t) - B(t)}{\text{distance}(x_i(t), B(t))} \quad (6)$$

где $step_{vol}$ – размер шага волевого движения;
$\text{distance}(x_i(t), B(t))$ – евклидово расстояние между положением i-той рыбы и барицентром косяка;
rand(0,1) – равномерно распределенный массив случайных чисел с той же размерностью, что и B, и значениями в диапазоне от 0 до 1.

Помимо операторов движения, в алгоритме имеется оператор кормления, используемый для обновления веса каждой рыбы, который рассчитывается по формуле (7):

$$W_i(t+1) = W_i(t) + \frac{\Delta f_i}{\max(|f_i|)} \quad (7)$$

где $W_i(t)$ – весовой параметр для i-той рыбы;
Δf_i – изменение приспособленности i-той рыбы;
$\max(|\Delta f_i|)$ – максимальное абсолютное значение изменения приспособленности среди всех рыб.

Параметры $step_{ind}$ и $step_{vol}$ линейно убывают вместе с итерациями.

Преимуществом выбранного алгоритма является его способность осуществлять поиск в многомерном пространстве и учитывать сложные взаимосвязи между характеристиками оборудования [3]. В ходе выполнения алгоритма Fish School Search производится одновременный анализ ряда критически важных критериев отбора элементов, таких как производственная мощность, энергозатраты, размеры, стоимость, надежность и техническая совместимость компонентов. Такой подход позволит формировать наилучшие конфигурации оборудования, соответствующие как техническим требованиям, так и экономическим ограничениям проектируемой линии.

Блок-схема алгоритма решения задачи подбора оборудования представлена на рис. 2. В контексте решаемой задачи каждая рыба представляет собой потенциальную конфигурацию оборудования

технологической линии, характеризующуюся набором технических параметров и характеристик элементов [4].

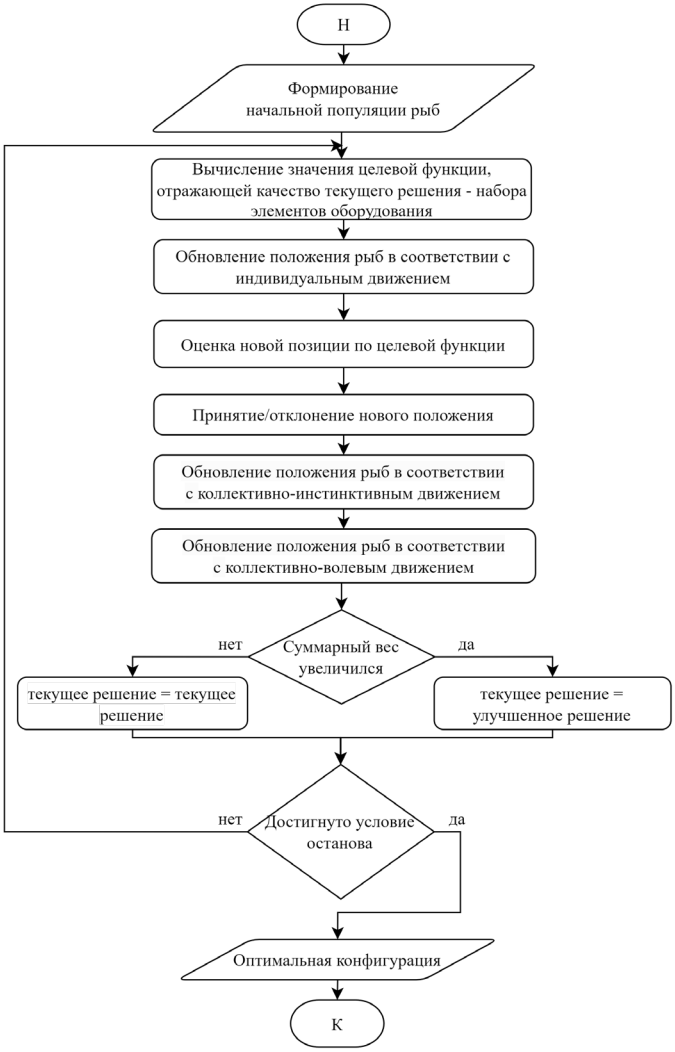


Рис. 2. Блок-схема FSS-алгоритма формирования наилучшей конфигурации элементов оборудования

2. Реализация предложенного алгоритма на языке Python

Реализация предложенного решения в виде программного продукта на языке Python обусловлена несколькими существенными факторами.

Во-первых, данный язык программирования предоставляет библиотеки для мягких вычислений и машинного обучения, которые обеспечивают эффективную работу с многомерными массивами данных и реализацию сложных математических операций, необходимых для реализации выбранного алгоритма.

Во-вторых, Python обладает развитыми средствами визуализации данных через библиотеки Matplotlib и Seaborn, что позволяет наглядно отображать результаты работы алгоритма.

Программный продукт использует следующие библиотеки:

1. NumPy (работа с многомерными массивами и математическими вычислениями).
2. Pandas (обработка и анализ данных).
3. Scikit-learn (масштабирование данных и машинного обучения).
4. Matplotlib и Seaborn (визуализация результатов).
5. TensorFlow (реализация нейро-нечеткой системы ANFIS).

Работа программного продукта включает следующие этапы:

1. Загрузка и первичная обработка данных. Программа считывает информацию из трех источников: файл с историческими данными (historical_data.csv), содержащий информацию о предыдущих успешных внедрениях оборудования; файл с характеристиками возможных элементов оборудования (elements.csv); файл с требованиями к оборудованию (equipment.csv).
2. Обучение нейро-нечеткой системы ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) для определения степени успешности различных конфигураций оборудования [5-6].
3. Формирование вектора приоритетов характеристик для каждого вида оборудования.
4. Выполнение алгоритма Fish School Search на основе полученных приоритетов для поиска наилучшей конфигурации оборудования в многомерном пространстве характеристик.
5. Реализация алгоритма Fish School Search на языке Python представлена в виде псевдокода (листинг 1).

Листинг 1

Класс «алгоритм поиска «косяком рыб»»

```
НАЧ
ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ:
    количество_рыб = N
    размерность_пространства = D
```

```
    границы_поиска = [мин, макс]
    шаг_индивидуальный = 0.1
    шаг_коллективный = 0.01
    мин_вес = 1
    макс_вес = 500
создать_косяк_рыб()
ПРОЦЕСС_ОПТИМИЗАЦИИ(МАКС_ИТЕРАЦИЙ):
    лучшее_решение = нет
    лучшая_пригодность = минус_бесконечность
    ЕСЛИ достигнуто макс кол-во итераций, ТО:
         вернуть лучшее_решение
    ИНАЧЕ
         // Индивидуальное движение
         для каждой рыбы:
         нов_позиция = тек_позиция + случ_движение*шаг_индивид
         ЕСЛИ нов_пригодность > тек_пригодность:
              обновить_позицию
         // Коллективно-инстинктивное движение
         рассчитать_общее_направление()
         для каждой рыбы:
             сместить_в_общем_направлении()
         // Коллективно-волевое движение
         для каждой рыбы:
             обновить_вес_рыбы()
         обновить_лучшее_решение()
КОН
```

6. Вывод набора наилучшей конфигурации элементов для каждого вида оборудования. Автоматически создается итоговый отчет, содержащий список рекомендованных составляющих для оборудования технологической линии. На рис. 3-5 представлено графическое отображение работы алгоритма. Окно с визуализацией открывается для каждого вида оборудования.

На рис. 3 отражены финальные позиции рыб-агентов на последней итерации. Расположение точек показывает найденные потенциальные решения. Исходя из графика видно, что большинство агентов сконцентрировалось в области с высокими значениями параметров (0.9-1.0 по обеим осям), что указывает на нахождение наилучшего решения в этой зоне.

На рис. 4 отражена динамика изменения значений функции приспособленности по ходу выполнения итерации. График показывает устойчивый рост значения функции от начального значения 0,375 до значения 0,525, со стабилизацией после 80-й итерации, что свидетельствует о сходимости алгоритма. На рис. 5 представлена трехмерная визуализация траекторий движения рыб в пространстве

поиска на протяжении всего процесса оптимизации. Различные цвета линий соответствуют траекториям разных рыб-агентов.

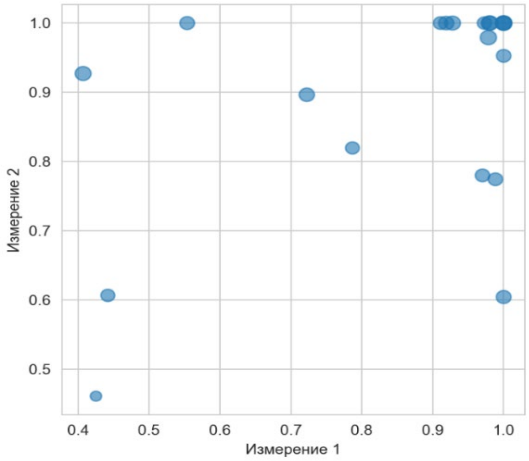


Рис. 3. Графическое отображение позиций рыб на последней итерации работы алгоритма

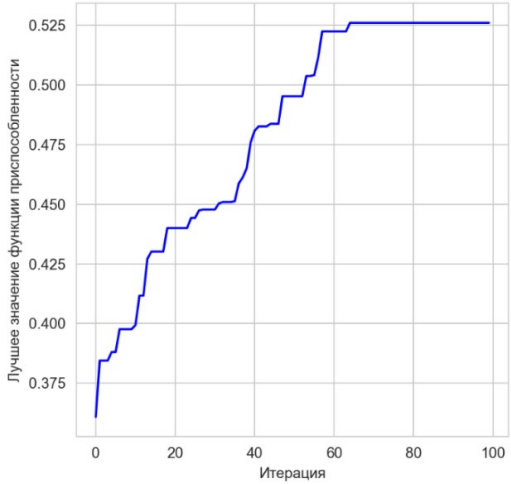


Рис. 4. График динамики значений функции приспособленности

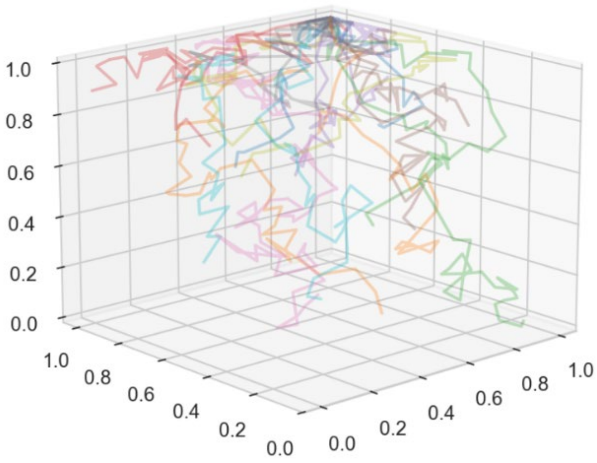


Рис. 5. Визуализация траекторий движения рыб

Дополнительно программа сохраняет визуализации процесса оптимизации, позволяющие проанализировать работу алгоритма FSS и качество найденных решений.

Заключение

Применение метаэвристического алгоритма поиска «косяком рыб» является перспективным для автоматизации процесса формирования наилучшей конфигурации элементов оборудования технологической линии переработки рудного сырья, поскольку он может эффективно исследовать многомерные пространства данных, позволяет учитывать множество технических характеристик, а также сокращает время и ошибки при подборе элементов оборудования благодаря отсутствию человеческого фактора при проведении процесса. Использование реализованной программы для поддержки принятия решений по подбору комплектующих на высокотехнологичном производстве по переработке рудного сырья позволит снизить издержки и увеличить производительность технологической линии в целом.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект №FSWF-2023-0012.

Литература

1. Taxonomy of bio-inspired algorithms / D. Molina [и др.] // Cognitive Computation. – 2020. – С. 1-61.

2. A novel search algorithm based on fish school behavior / Carmelo Bastos-Filho [и др.] // 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. – 2008. – С. 2646-2651.

3. Fish School Search Algorithm for Constrained Optimization / J.B. Monteiro-Filho [и др.] // Computational intelligence research group – Polytechnical School of Pernambuco. – 2022. – С. 1-12.

4. Булыгина, О. В. Использование алгоритмов роевого интеллекта для определения состава мультипроекта / О. В. Булыгина, Д. Д. Ярцев, А. В. Зедаина // Прикладная информатика. – 2024. – Т.19. – №6. – С. 44-58.

5. Пучков, А. Ю. Нейро-нечеткий классификатор состояния технологического процесса / А. Ю. Пучков, М. И. Дли, Е. И. Лобанева // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2021. – №57. – С. 105-110.

6. Булыгина, О. В. Направления гибридизации алгоритмов роевого интеллекта и нечеткой логики для решения оптимизационных задач в социально-экономических системах / О. В. Булыгина, Д. Д. Ярцев, Н. Н. Прокимнов, Е. К. Верейкина // Прикладная информатика. – 2024. – Т.19. – №5. – С.45-67.

Разработка системы автоматизации внутренних бизнес-процессов предприятия с использованием Telegram-бота

К. Р. Денисов, email: roma81186@gmail.com
Е. А. Копытина, email: zhemkaterina@yandex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной статье предложена реализация программного продукта для автоматизации внутренних бизнес – процессов предприятия с использованием Telegram-бота.*

Ключевые слова: *автоматизация, Telegram-бот, учет рабочего времени, расчет зарплаты, управление мероприятиями.*

Введение

Современные предприятия сталкиваются с необходимостью оптимизации процессов управления персоналом. Ручное выполнение задач, таких как учет рабочего времени, расчет зарплат и организация мероприятий, приводит к ошибкам и увеличению затрат времени, как показано в [1-6]. Telegram-боты предоставляют удобное решение, позволяющее автоматизировать рутинные операции.

Разрабатываемый Telegram-бот поможет:

– Управлять рабочими графиками сотрудников.

– Рассчитывать заработную плату с учетом переработок и налогов.

– Проводить учет отпусков.

– Планировать и уведомлять о корпоративных мероприятиях.

Использование Telegram-бота упрощает взаимодействие сотрудников с системой и повышает эффективность управления бизнес-процессами. Преимуществами такой системы являются высокая доступность, мобильность и возможность быстрой интеграции с другими системами.

1. Постановка задачи

Для реализации проекта поставлены следующие задачи:

– Разработка системы хранения данных сотрудников (графики, отпуска, информация).

– Создание модуля учета рабочего времени.

– Реализация автоматизированного расчета зарплаты.

– Управление заявками на отпуск и учет отпускных дней.

© Денисов К. Р., Копытина Е. А., 2025

– Организация мероприятий с уведомлением сотрудников.

– Бот должен иметь интеграцию с внешними сервисами (например, Google Calendar).

2. Реализация логики программного продукта

Рассмотрим основные модули программного продукта. Модуль хранения данных сотрудника:

– Хранит личную информацию, графики работы, данные об отпусках и больничных.

– Обеспечивает быстрый доступ к данным для выполнения расчетов и анализа.

– Поддерживает управление доступом для конфиденциальности информации.

– Фиксирует начало и окончание смен сотрудников.

– Позволяет сотрудникам просматривать свои отработанные часы через бот.

Модуль учета времени:

– Формирует отчеты для менеджеров и руководства с возможностью фильтрации по сотрудникам, отделам или периодам времени.

Модуль расчета зарплаты:

– Автоматизирует процесс расчета с учетом зарегистрированного рабочего времени, переработок и налогов.

– Поддерживает учет дополнительных выплат (премий, бонусов) и вычетов.

– Создает итоговые отчеты по заработной плате для передачи в бухгалтерию.

Модуль мероприятий:

– Организует мероприятия, включая планирование дат, тем и участников.

– Автоматически уведомляет сотрудников о предстоящих событиях и предоставляет возможность подтверждения участия.

– Сохраняет обратную связь от участников мероприятий для последующего анализа.

Модуль уведомлений:

– Рассылает напоминания о сменах, важных событиях и корпоративных новостях.

– Поддерживает настройку индивидуальных уведомлений для сотрудников в зависимости от их графика или роли.

– Позволяет менеджерам отправлять массовые и персонализированные сообщения.

Модуль аналитики:

– Проводит анализ данных о рабочем времени, продуктивности и участии в мероприятиях.

– Генерирует визуализации (графики, диаграммы) для удобства анализа.

– Предоставляет рекомендации по оптимизации рабочего времени на основе собранных данных.

Каждый модуль интегрируется с базой данных и взаимодействует с Telegram API для получения и передачи данных.

3. Средства реализации

Для реализации Telegram-бота использованы:

– Язык программирования: Python выбран благодаря широкому набору библиотек, простоте интеграции и поддержке со стороны сообщества.

– Библиотека для Telegram API: python-telegram-bot. Она обеспечивает удобную работу с функциями Telegram, такими как обработка сообщений, создание команд и отправка уведомлений.

– База данных: PostgreSQL используется для хранения структурированных данных о сотрудниках, их графиках и результатах работы.

– Фреймворки: Flask или FastAPI для серверной логики. Эти фреймворки позволяют создавать быстрые и надежные REST API для взаимодействия между базой данных и ботом.

– Хостинг: Heroku для развертывания. Выбран за его удобство настройки и возможность бесплатного использования на начальном этапе разработки.

– Интеграции: Google Calendar API для планирования мероприятий.

– Docker служит для контейнеризации и обеспечения стабильной работы приложения в различных средах.

Заключение

Разработка Telegram-бота для автоматизации бизнес-процессов позволяет сократить затраты времени и минимизировать человеческий фактор в рутинных задачах. Это обеспечивает прозрачность процессов и улучшает взаимодействие сотрудников с системой.

В будущем планируется:

– Внедрение аналитических инструментов для анализа эффективности работы сотрудников.

– Интеграция с облачными сервисами для хранения и обработки данных.

– Добавление функций по управлению проектами и задачами.

Telegram-бот становится универсальным инструментом, который помогает компании адаптироваться к изменяющимся условиям бизнеса и повышает ее конкурентоспособность.

Список литературы

1. Пустовалов, А. А. Разработка системы управления контентом на базе телеграм-бота для малого бизнеса / А. А. Пустовалов, Е. А. Копытина // Информатика: проблемы, методы, технологии : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова, Воронеж, 14–15 февраля 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2024. – С. 1128-1132. – EDN NKKXKF.

2. Быков, М. Н. Разработка системы аутсорсинга краткосрочных работ на предприятиях / М. Н. Быков, Е. А. Копытина // Труды молодых учёных факультета компьютерных наук ВГУ : Сборник статей. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2024. – С. 42-50. – EDN VLZHBI.

3. Горожанин, А. С. Использование мессенджера Telegram как платформы для создания специализированных ботов для подбора кадров в IT кампанию / А. С. Горожанин // Нанотехнологии: наука и производство. – 2024. – № 2. – С. 8-12. – EDN VQAISM.

4. Наумова, И. Д. Разработка программного продукта для автоматизации формирования отчетных документов аналитика Центрального Федерального Округа компании ООО "Партнер" / И. Д. Наумова, Е. А. Копытина // Информатика: проблемы, методы, технологии : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова, Воронеж, 14–15 февраля 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2024. – С. 1123-1127. – EDN YLQEYI.

5. Журавлев, Д. С. Разработка Telegram-бота для автоматизации работы с задачами отдела / Д. С. Журавлев, А. О. Набокин // Транспорт: наука, образование, производство : Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 24–26 апреля 2024 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 99-103. – EDN OPTFTT.

6. Копытина, Е. А. Определение тенденции развития строительной организации на основе прогнозирования временных рядов / Е. А. Копытина, Н. А. Петрикеева, Д. М. Чудинов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2020. – № 1(19). – С. 87-91. – EDN KYQXLC.

Разработка веб-приложения для автоматизации управления малым предприятием с интеграцией телеграм-бота

Р. Р. Джаббаров, email: jabbarov@cs.vsu.ru
Е. А. Копытина, email: zhemkaterina@yandex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной статье предложена реализация веб-приложения с интеграцией телеграм-бота, направленная на автоматизацию учета финансов, управления складом и обработки заказов малого предприятия.*

Ключевые слова: *автоматизация, веб-приложение, малый бизнес, телеграм-бот, управление запасами, учет финансов.*

Введение

В условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся рыночных условий малые предприятия сталкиваются с множеством трудностей. Управление бизнес-процессами, такими как учет запасов, контроль финансов и обработка заказов, зачастую осуществляется вручную, что приводит к увеличению временных затрат, вероятности ошибок и снижению общей эффективности компании. Автоматизация бизнес-процессов становится ключевым решением этих проблем, как показано в [1, 2].

Под автоматизацией бизнес-процессов понимается использование цифровых инструментов и технологий для оптимизации повторяющихся последовательностей действий. Она позволяет устранить рутинные задачи, минимизировать влияние человеческого фактора и повысить прозрачность процессов. Например, при автоматизации обработки заказов система может автоматически фиксировать новые заявки, проверять наличие товаров на складе, уведомлять клиентов и формировать отчеты для менеджеров.

Как показано в [3-6], автоматизация помогает существенно снизить расходы предприятия. Благодаря уменьшению объема ручного труда и ускорению выполнения операций компании получают возможность перераспределить ресурсы на более важные задачи. Кроме того, автоматизированные процессы повышают прозрачность и управляемость бизнеса: руководители могут в реальном времени отслеживать выполнение задач, анализировать ключевые показатели и принимать решения на основе точных данных.

© Джаббаров Р. Р., Копытина Е. А., 2025

Еще одним значимым преимуществом автоматизации является повышение скорости бизнес-процессов. Автоматизация выполнения рутинных операций, установка четких сроков и условий выполнения задач позволяют значительно ускорить цикл продаж и обслуживания клиентов, что особенно важно в условиях высокой конкуренции.

Помимо этого, автоматизация упрощает сбор и анализ данных. Ручной сбор информации может быть трудоемким и ненадежным, в то время как автоматизированные системы обеспечивают централизованное хранение и обработку данных, что позволяет строить прогнозы, находить слабые места в процессах и принимать обоснованные решения.

Внедрение автоматизированных процессов снижает хаос в оперативной работе компании. Сотрудники начинают работать более слаженно, а их действия становятся прозрачными. Это приводит к уменьшению конфликтов и улучшению взаимодействия между подразделениями.

Автоматизация особенно актуальна для малых предприятий, так как она позволяет минимизировать затраты, улучшить качество обслуживания клиентов и быстро адаптироваться к изменениям (см. [7-10]).

Целью данной работы является разработка веб-приложения с интеграцией телеграм-бота, направленная на автоматизацию таких ключевых задач, как учет финансов, управление складом и обработка заказов, что обеспечит устойчивый рост и повышение конкурентоспособности малого бизнеса.

1. Постановка задачи

К описываемому в статье веб-приложению были выдвинуты следующие функциональные требования:

- Авторизация и регистрация пользователей в веб-приложении;
- Учет финансов, включающий ведение доходов и расходов;
- Управление складскими запасами;
- Создание и обработка заказов извне через публичный API;
- Управления складскими заказами через телеграм-бот;
- Уведомления о поступлении о новых товарах в телеграм-боте.

2. Средства реализации программного продукта

Веб-приложение реализуется посредством клиент-серверной архитектуры. Обмен между ними осуществляется посредством архитектурного стиля REST API.

Для разработки серверной части сайта был выбран следующий ряд технологий:

– Java – многоплатформенный, объектно-ориентированный язык программирования, предназначенный для разработки различных приложений, включая мобильные, корпоративные, и серверные, обеспечивая быстродействие, безопасность и надежность;
– Spring Framework – это фреймворк с открытым исходным кодом для языка программирования Java. Он был создан для упрощения разработки и поддержки масштабируемых, слабосвязанных и повторно используемых приложений;
– PostgreSQL – реляционная база данных с открытым кодом, которая поддерживается в течение 30 лет разработки и является одной из наиболее известных среди всех существующих реляционных баз данных;
– MinIO – это высокопроизводительная система объектного хранения с открытым кодом, которая совместима по API с облачным сервисом хранения Amazon S3.

Для разработки клиентской части сайта был выбран следующий ряд технологий:

– JavaScript – высокоуровневый язык программирования, который широко используется для разработки интерактивных веб-страниц и веб-приложений;
– TypeScript – это расширение языка JavaScript, которое обеспечивает строгую типизацию и используется для разработки клиентской части приложений;
– React – библиотека для создания пользовательских интерфейсов. Она позволяет разработчикам создавать масштабируемые и переиспользуемые компоненты, которые обновляются автоматически при изменении данных.

3. Реализация логики программного продукта

Как упоминалось выше, веб-приложение реализуется посредством клиент-серверной архитектуры. Серверная часть выполняет основную логику, включая такие функции, как отправка уведомлений через телеграм-бот, создание и обработка заказов, учет доходов и расходов, авторизация и регистрация пользователей. Сервер отвечает за обработку всех бизнес-процессов, проверку данных и взаимодействие с базой данных, обеспечивая стабильную и безопасную работу системы.

Для серверной части были созданы следующие основные сущности: пользователь, категории, товар, скидка, заказ. Посредством HTTP запросов данные сущности будут создаваться и удалятся в СУБД PostgreSQL.

Серверная часть приложения имеет следующие модули:

- Controller. Данный модуль содержит в себе функции и методы, ответственные за обработку запросов от клиентской части приложения. Внутри него находятся контроллеры, каждый из которых отвечает за определенные маршруты (endpoints) и передает соответствующие запросы к сервисам;
- Service. Данный модуль содержит в себе классы, которые отвечают за определенную бизнес-логику. Обращается к слою доступа к данным;
- Repository. Данный модуль содержит в себе интерфейсы для прямой работы с базой данных. Такие операции как чтение, запись, удаление, обновления, фильтрация выполняются с помощью данных интерфейсов;
- Entity. Данный модуль содержит в себе модели данных, которые отображают сущности приложения и описывает их связь.

Клиентская часть веб-приложения предназначена для отображения данных и обеспечения удобного интерфейса для взаимодействия с сервером. Она предоставляет пользователю доступ к функциям приложения, включая просмотр информации о товарах, управление заказами и мониторинг складских запасов. Используя современные технологии, такие как React и TypeScript, клиентская часть обеспечивает высокую производительность, отзывчивость интерфейса и удобство работы для конечного пользователя.

Дополнительно, клиентская часть реализует обработку ошибок и уведомлений, полученных от сервера, обеспечивая пользователя актуальной информацией. Такое разделение ответственности между сервером и клиентом позволяет достичь высокой гибкости и масштабируемости системы, упрощая её дальнейшее развитие.

Заключение

Разработанное веб-приложение предоставляет удобный инструмент для автоматизации управления малым предприятием. Оно снижает нагрузку на сотрудников, минимизирует вероятность ошибок и повышает прозрачность бизнес-процессов. Интеграция с телеграм-ботом делает взаимодействие с системой быстрым и удобным, что особенно важно для клиентов и менеджеров.

Разработка данного программного продукта позволяет решить не только текущие задачи управления, но и обеспечить базу для дальнейшего развития бизнеса. Упрощение выполнения рутинных операций способствует повышению эффективности сотрудников, а сбор и анализ данных создают возможности для стратегического

планирования и прогнозирования. Это делает систему незаменимым инструментом для предприятий, стремящихся к устойчивому росту.

В будущем планируется расширение функциональности, включая интеграцию с другими мессенджерами и добавление аналитических инструментов для прогнозирования продаж и расходов. Также будет уделено внимание разработке дополнительных модулей, которые позволят охватить более широкий спектр бизнес-процессов, таких как управление персоналом, логистика и маркетинг. Всё это обеспечит максимальную адаптивность и конкурентоспособность разработанного решения.

Список литературы

1. Карасени, Р. Г. Особенности управления качеством в системе управления предприятием малого бизнеса / Р. Г. Карасени, М. С. Сафарли // Modern Science. – 2020. – № 8-1. – С. 56-60. – EDN SCYTYQ.

2. Нурдавлятова, Э. Ф. Управление финансами на малом предприятии как составная часть принятия управленческих решений / Э. Ф. Нурдавлятова, Н. П. Васильева // Аллея науки. – 2019. – Т. 2, № 2(29). – С. 477-480. – EDN GGCHDW.

3. Пустовалов, А. А. Разработка системы управления контентом на базе телеграм-бота для малого бизнеса / А. А. Пустовалов, Е. А. Копытина // Информатика: проблемы, методы, технологии : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова, Воронеж, 14–15 февраля 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2024. – С. 1128-1132. – EDN NKKXKF.

4. Зобнин, Ю. А. Разработка и внедрение автоматизированных информационных систем на предприятии / Ю. А. Зобнин, А. С. Еропкина, О. В. Рындина. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2021. – 148 с. – ISBN 978-5-9961-2750-4. – EDN CHNGAD.

5. Иванова, М. А. Пути автоматизации бизнес-процессов отечественных компаний как фактор стратегического управления / М. А. Иванова, К. С. Матыцина, А. В. Колесников // Перспективные треки использования цифровых технологий и инноваций в практике корпоративного управления : Сборник научных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции "Инновации в управлении социально-экономическими системами" (RCIMSS-2023), Москва, 30 марта 2023 года. Том 14. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2023. – С. 191-194. – EDN WPSPQH.

6. Свистунов, В. М. Актуальные тренды автоматизации бизнес-процессов в отечественных компаниях / В. М. Свистунов, В. В. Лобачев

// Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2022. – Т. 11, № 2. – С. 72-76. – DOI 10.12737/2305-7807-2022-11-2-72-76. – EDN XHCPOI.

7. Копытина, Е. А. Разработка веб-сервиса для формирования горячего коммерческого предложения ООО «ЧерноземАгромаш» / Е. А. Копытина, Ф. А. Десятириков, А. В. Копытин // Информатика: проблемы, методы, технологии : Материалы XXII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова, Воронеж, 10–12 февраля 2022 года / Под редакцией Д.Н. Борисова. – Воронеж: Общество с ограниченной ответственностью "Вэлборн", 2022. – С. 990-996. – EDN SXFFFI.

8. Быков, М. Н. Разработка системы аутсорсинга краткосрочных работ на предприятиях / М. Н. Быков, Е. А. Копытина // Труды молодых учёных факультета компьютерных наук ВГУ : Сборник статей. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2024. – С. 42-50. – EDN VLZHBI.

9. Наумова, И. Д. Разработка программного продукта для автоматизации формирования отчетных документов аналитика Центрального Федерального Округа компании ООО "Партнер" / И. Д. Наумова, Е. А. Копытина // Информатика: проблемы, методы, технологии : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова, Воронеж, 14–15 февраля 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2024. – С. 1123-1127. – EDN YLQEYI.

10. Погорелов, Р. И. Адаптация тиражируемого решения от фирмы 1С (1С: Управление нашей фирмой) и разработка приложения на мобильной платформе 1С / Р. И. Погорелов, А. В. Копытин, Е. А. Копытина // Труды молодых учёных факультета компьютерных наук ВГУ : Сборник статей / Под редакцией Д.Н. Борисова. Том Выпуск 1. – Воронеж : Общество с ограниченной ответственностью "Вэлборн", 2021. – С. 121-125. – EDN EOZHFH.

Разработка нечеткого ПИД регулятора

Д. П. Донских, email: steamdiver@yandex.ru [1]
М. Г. Матвеев, email: mgmatveev@yandex.ru [2]
Я. А. Воронцов, email: jessy-black0990@yandex.ru [3]

[1] ООО «Эл-Экс»
[2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»
[3] ООО «Авито Тех»

Аннотация. *В данной работе рассматривается разработка нечеткого ПД регулятора для поддержания заданной температуры в помещении. Описаны основные принципы работы и правила нечеткой логики, используемые регулятором для обработки входных данных и формировании результат для формирования ШИМ сигнала. Приведены графики, демонстрирующие характеристики разработанного регулятора.*

Ключевые слова: *нечеткая логика, нечеткий регулятор, ПИД регулятор, поддержание температуры.*

Введение

Задача поддержания температуры в помещении является одной из ключевых задач, решение которых требуется для поддержания комфортных условий для жизнедеятельности человека. На сегодняшний день на практике используется множество устройств, призванных поддерживать температуру в помещении. Большое распространение получили классические ПИД регуляторы и регуляторы, основанные гистерезисе [1], поддерживающие максимальную мощность нагревателя до достижения заданной максимальной температуры и отключающие его до достижения минимальной. Принципы, лежащие в основе этих регуляторов, допускают значительные колебания температуры, хотя просты в реализации с технической точки зрения [2]. В данной статье описывается реализация ПИД контроллера, работающего с использованием нечеткой логики.

1. ПИД регулятор

ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор) – это устройство автоматического управления с обратной связью, широко применяемое в системах автоматического контроля для обеспечения высокой точности и

© Донских Д. П., Матвеев М. Г., Воронцов Я. А., 2025

стабильности процессов. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, состоящий из трех составляющих [3]:

1. Пропорциональная составляющая (P): определяется как произведение коэффициента *Kp* на разность между заданным значением и фактическим значением (ошибка e(t)). Чем больше ошибка, тем выше управляющий сигнал.

$$P = K_p e(t) \tag{1}$$

2. Интегральная составляющая (I): определяется как интеграл ошибки по времени, что позволяет учитывать накопленные отклонения от заданного значения. Это помогает устранить статическую ошибку.

$$I = K_i \int e(t)dt \tag{2}$$

3. Дифференциальная составляющая (D): определяется как производная ошибки, что позволяет предсказывать будущее поведение системы и уменьшать колебания.

$$D = K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{3}$$

Регулятор динамически корректирует управляющий сигнал на основании разницы между заданным и фактическим значением контролируемого параметра. К преимуществам можно отнести высокую точность регулирования, быстрое реагирование на отклонения, устойчивость к внешним возмущениям. Однако все данные преимущества имеют место быть лишь при тонкой настройке регулятора и при неизменных параметрах системы, таких как потери. При наличии вариативности параметров управляемой системы возникает необходимость в постоянной подстроке параметров регулятора для достижения приемлемого качества регулирования [3].

2. Нечеткая логика

Нечеткая логика представляет собой мощный инструмент для моделирования сложных систем и процессов [7], особенно в условиях неопределенности, которая свойственна таким системам, как помещения. В отличие от классической булевой логики, оперирующей только двумя значениями истинности (истина или ложь), нечеткая логика работает с непрерывным спектром значений в интервале от 0 до 1. Для определения степени принадлежности элемента к нечеткому множеству используются функции принадлежности. Они могут иметь различный вид (треугольные, гауссовские и др.) Вид функции определяет характер зависимости степени принадлежности элемента к нечеткому множеству. Нечеткая логика позволяет преобразовать набор

высказываний на естественном языке к неточным или приближенным вычислениям. Она находит широкое применение в различных областях, включая системы управления, обработку естественного языка, медицинскую диагностику и промышленные процессы поскольку не требует построения строгой математической модели, а допускает построения набора правил на естественном языке.

3. Основные принципы

Разрабатываемый нечеткий регулятор является ПД регулятором. То есть величина управляющего сигнала зависит от двух составляющих – пропорциональной – величины отклонения текущего значения управляющей величины (температуры) от заданного и дифференциальной – величины, соответствующей изменению ошибки [4]. Результатом работы контроллера является величина изменения управляющего воздействия устройство. Фактически, устройство управления накапливает в себе интегральную составляющую регулятора, поскольку накапливает в себе величину управляющего воздействия. Это позволят компенсировать статические потери системы. Управление непосредственно нагревательным прибором осуществляется посредством формирования ШИМ сигнала.

Регулятор, основанный на нечеткой логике должен обеспечить лучшее качество переходного процесса по сравнению с классическим ПИД регулятором ввиду лучшей адаптивности, устойчивости и гибкости [5, 6].

4. Нечеткие переменные

Для построения контроллера необходимо выделить нечеткие переменные и термы.

Ошибка (Error): отрицательная (Negative), нулевая (Zero), положительная (Positive). Ошибка вычисляется как разница между целевой температурой и текущей. То есть отрицательная ошибка означает перегрев.



Рис. 1. Error

Изменение ошибки (DeltaError): отрицательное (Negative), нулевое (Zero), положительное (Positive). Изменение ошибки численно вычисляется как разница между текущей ошибкой и прошлой, деленая на интервал времени между измерениями в минутах. То есть отрицательная величина означает увеличение ошибки.

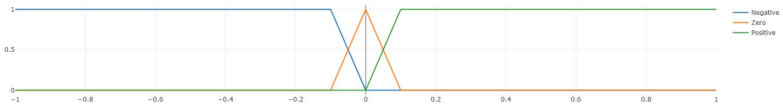


Рис. 2. DeltaError

Сигнал (Output): увеличить сильно (IncreaseStringly), увеличить (Increase), не изменять (NoChange), уменьшить (Decrease), уменьшить сильно (DescreaseStringly).

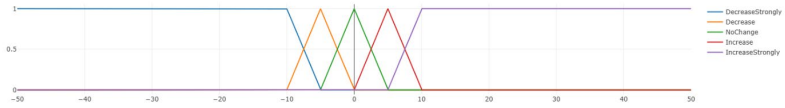


Рис. 3. Output

5. Нечеткие правила

Для описания закона регулирования необходимо составить базу правил с использованием описанных выше нечетких переменных. Для разработанного контроллера были использованы следующие правила:

- IF Error IS Negative AND DeltaError IS Negative THEN Output IS DecreaseStrongly
- IF Error IS Negative AND DeltaError IS Zero THEN Output IS Decrease
- IF Error IS Negative AND DeltaError IS Positive THEN Output IS NoChange
- IF Error IS Zero AND DeltaError IS Negative THEN Output IS Decrease
- IF Error IS Zero AND DeltaError IS Zero THEN Output IS NoChange
- IF Error IS Zero AND DeltaError IS Positive THEN Output IS Increase

– IF Error IS Positive AND DeltaError IS Negative THEN Output IS NoChange
– IF Error IS Positive AND DeltaError IS Zero THEN Output IS Increase
– IF Error IS Positive AND DeltaError IS Positive THEN Output IS IncreaseStrongly

В результате моделирования получилась поверхность, показанная на рисунке 4, образованная значениями переменной Output в зависимости от значений Error, отложенных по оси X, и DeltaError, отложенных по оси Y.

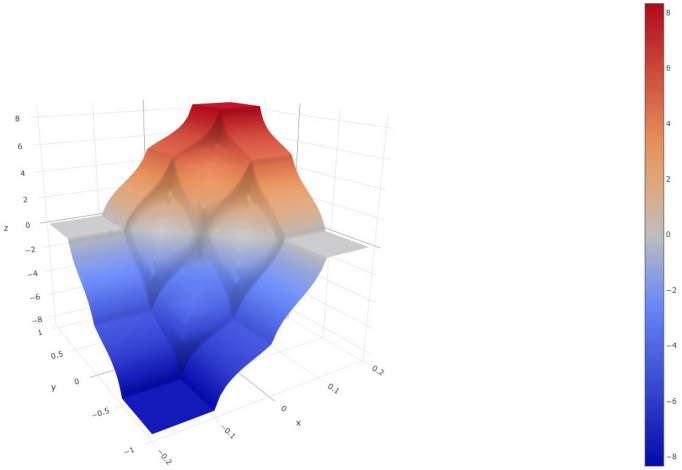


Рис. 4. Output

6. Результат работы

Разработанный нечеткий регулятор с описанными выше параметрами был протестирован в естественных условиях для поддержания заданной температуры в помещении в течение длительного времени с дополнительными источниками тепла, вносящими возмущения. На рисунках ниже представлены графики температуры в помещении и величины ШИМ сигнала.

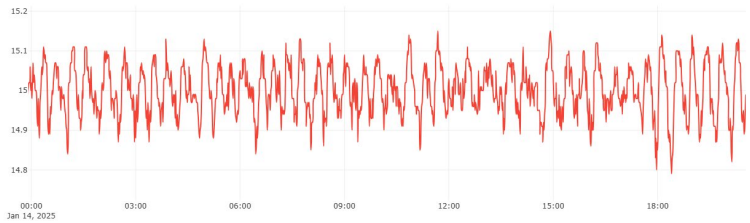


Рис. 5. График температуры

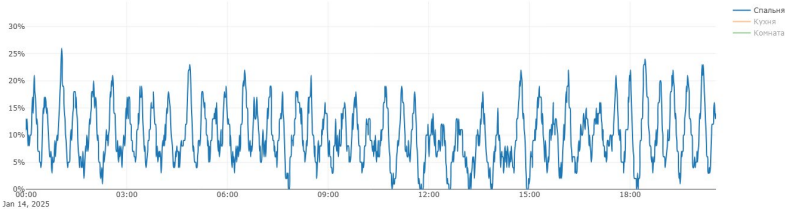


Рис. 6. График ШИМ

Видно, что заданные параметры регулятора позволяют поддерживать температуру с колебаниями до 0.2 градуса при температуре вне помещения около 0 градусов. При этом величина скважности ШИМ колеблется от 0 до 25%, что больше разработанного ранее простого нечеткого регулятора, формирующего управляющий сигнал, учитывая текущую температуру в помещении (ошибку) и температуру на улице. Однако, следует учитывать, что приведенные выше результаты не являются результатом работы оптимально настроенного регулятора. Параметры для описания переменных были заданы на основании эмпирического опыта и опыта реализации других регуляторов.

Вывод

Разработанный регулятор позволяет поддерживать температуру в помещении близко к заданной, в отличие от простого нечеткого регулятора. На графиках видны колебания температуры и величины ШИМ большие по сравнению с простым нечетким регулятором, что может быть следствием не оптимальными значениями, использованных

для описания нечетких переменных. Подбор оптимальных значений является сложной задачей, которая может быть решена несколькими способами. Например, с использованием генетических алгоритмов или с применением систем искусственного интеллекта таких как ANFIS. Однако с использованием параметров, установленных на основании эмпирического опыта, позволяют достичь удовлетворительного результата.

Список использованных источников

1. Герасимов, В. Г. Электротехника и электроника. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины / В. Г. Герасимов, Э. В. Кузнецов, О. В. Николаева. – М. : Энергоатомиздат, 1997. – 354 с.
2. Кацман, М. М. Электрические машины автоматических систем / М. М. Кацман, Ф. М. Юферов. – М. : Высшая школа, 1979. – 312 с.
3. ПИД регулятор: основы, принцип работы, плюсы и минусы [Электронный ресурс] : web-ресурс. – Режим доступа : https://kedrsolutions.ru/blog/pid-regulyatory-principy-raboty
4. Бураков, М. В. Нечеткий регулятор ПИД-типа для нелинейного объекта / М. В. Бураков, А. П. Кирпичников [Электронный ресурс] : CyberLeninka. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/nechetkiy-regulyator-pid-tipa-dlya-nelineynogo-obekta
5. Исследование классических и нечетких ПИД-регуляторов [Электронный ресурс] : Фундаментальные исследования. – Режим доступа : https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41011
6. Комбинация нечетко-цифрового фильтра и ПИД регулятора [Электронный ресурс] : Новые технологии. – Режим доступа : https://mech.novtex.ru/jour/article/view/1247
7. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Прикладная информатика (по областям)" и другим специальностям / М. Г. Матвеев, А. С. Свиридов, Н. А. Алейникова. – М. : Финансы и статистика, ИНФРА-М, 2008. – 446 с.

Об актуальности комплексного моделирования процессов создания информационно-управляющих систем

А. А. Зацаринный, email: azatsarinny@ipiran.ru

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук

Аннотация. *Рассмотрен опыт применения методов моделирования информационно-управляющих систем (ИУС). Показана актуальность моделирования процессов создания современных ИУС. Представлен комплексный метод, сочетающий в себе преимущества аналитического, имитационного и натурного моделирования систем и комплексов. Предложены направления научных исследований по развитию методов комплексного моделирования ИУС и условия для их проведения.*

Ключевые слова: *информационно-управляющие системы, аналитическое моделирование, имитационное моделирование, натурное моделирование, комплексное моделирование.*

Введение

Новая Стратегия научно-технологического развития России определяет особую значимость развития информационно-управляющих систем (ИУС) в условиях развития цифровой трансформации во всех сферах деятельности [1]. Этому способствует интенсивное развитие новых информационных технологий, прежде всего технологий искусственного интеллекта (ТИИ), которое предусмотрено в рамках реализации национального проекта «Экономика данных» [2]. Многофункциональность создаваемых ИУС, а также развитие вычислительной математики с использованием суперкомпьютерных технологий, способных реализовывать достаточно сложные алгоритмы обработки данных, обусловили возрастающую актуальность методов моделирования, прежде всего прикладного, при создании и развитии ИУС.

В статье представлены некоторые аспекты методов комплексного моделирования ИУС.

© Зацаринный А. А., 2025

1. Факторы, определяющие актуальность комплексного моделирования ИУС

Наша страна обладает огромным положительным опытом создания больших ИУС, включая крупномасштабные территориально распределенные автоматизированные системы управления [3,4]. Этот опыт был основан на создании фундаментальных отечественных научных школах системного подхода [3]. Такие школы были созданы и много лет развивались в институтах Академии наук СССР (в последующем Российской академии наук) и на ведущих предприятиях промышленности, прежде всего оборонного значения. В качестве примера можно привести создание в начале 80-х гг. прошлого столетия совместного отдела НИИ систем связи и управления (НИИССУ) и Вычислительного центра АН СССР. Большое внимание уделял научной обоснованности предлагаемых решений на основе методов математического моделирования ИУС главный конструктор первой отечественной системы обмена данными с пакетной коммутацией академик И.А. Мизин [5]. При этом важное место занимало применение методов аналитического и имитационного моделирования [6,7,8].

Вместе с тем, современные ИУС различного назначения характеризуются многофункциональностью, территориальной распределенностью, высокой степенью адаптации к требованиям заказчика и условиям применения, способностью к сравнительно быстрой структурной и функциональной реконфигурации, возможностью смены используемых технологий, включая технологии искусственного интеллекта.

Естественно, что обозначенные выше и многие другие тенденции, требуют развития адекватных методов моделирования ИУС и составляющих их компонентов (подсистем, комплексов и средств). Традиционно используемые методы аналитического и имитационного моделирования не позволяют учесть спектр новых требований и условий создания ИУС, поскольку обладают целым рядом известных ограничений. Так, методы аналитического моделирования, которые позволяют получать в явном виде зависимости основных характеристик ИУС (пропускная способность, время доведения, достоверность и др.) от их параметров, не могут учитывать размерность ИУС, стохастический характер поведения в условиях случайных воздействий и другие факторы. Вводимые при этом ограничения и допущения, как правило, приводят к снижению адекватности модели реальной ИУС и, как следствие, к существенной погрешности результатов (которая также требует оценки). Поэтому аналитические модели достаточно эффективно могут использоваться на этапах предварительных

исследований при формировании облика, обоснования основных требований, общей структуры и состава ИУС. Кроме того, аналитическая модель может применяться для грубой оперативной оценки характеристик ИУС в процессе разработки и применения.

Метод имитационного моделирования является более точным и, как правило, позволяет учесть большую часть особенностей исследуемой ИУС, включая режимы передачи и коммутации, специфику построения системы, структуру и состав входных потоков и др. Однако результаты имитационного моделирования ИУС объективно характеризуют ее модель, а не саму систему. Более того, разработка имитационных моделей представляет весьма трудоемкий и длительный процесс.

Очевидно, что наиболее объективным является метод натурных испытаний при условии их проведения на системе полного состава, однако проблема организации таких испытаний является крайне сложной и не всегда осуществимой. На приведенные ограничения традиционных методов накладываются и множество приведенных выше особенностей современных ИУС.

2. Общие подходы к комплексному моделированию ИУС

В самом общем виде цели моделирования состоят в исследовании основных свойств ИУС (структура построения, принципы функционирования, характеристика информационных потоков, взаимодействие с другими системами) и изыскании методов управления свойствами ИУС для определения наилучших алгоритмов функционирования с учетом изменяющихся условий. Другими словами, речь идет о решении прямых и обратных задач.

Главная проблема в том, как построить модель, адекватно отражающую функционирование реальной системы. Степень адекватности модели зависит от количества свойств реального объекта: чем больше свойств объекта учитывает ее модель, тем она точнее; при этом для повышения точности необходимо увеличивать объемы экспериментальных исследований. Учитывая, что универсальные масштабные модели функционирования сложных ИУС создать практически невозможно, на практике широко применяются модели, ориентированные на конкретные аспекты разрабатываемых систем с учетом далеко не полных перечней ограничений и допущений по различным условиям и факторам, определяющим условия создания и применения систем. Для отработки проблемных вопросов реализации наиболее сложных системотехнических принципов и технологических решений в области ИУС в настоящее время используют в комплексе натурное и математическое моделирование с развертыванием

необходимых аппаратно-программных комплексов на стендах различного масштаба.

Таким образом, общие подходы к моделированию функционирования сложных ИУС предполагают гибкое использование аналитического, имитационного и натурного моделирования на различных стадиях создания ИУС, включая применение виртуальных технологий моделирования и цифровых двойников.

На ранних стадиях разработки (обоснования требований, системного облика, состава и основных системотехнических решений – в рамках НИР) основными являются методы аналитического моделирования.

На стадиях эскизно-технического и рабочего проектирования ОКР методы аналитического моделирования должны дополняться методами имитационного моделирования компонентов ИУС. При этом результаты аналитического и имитационного моделирования позволяют сформировать исходные данные для создания имитационно-испытательных комплексов (ИИК).

На стадиях изготовления опытного образца и проведения предварительных испытаний преобладают методы натурного моделирования, дополняемые имитационным моделированием, с использованием ИИК.

На стадиях различных видов испытаний ИУС и их компонентов основным является метод натурного моделирования. При этом результаты аналитического и имитационного моделирования позволяют обосновать состав опытного участка, а также продолжительность испытаний при оценке тех или иных характеристик ИУС, возможность учета результатов предварительных испытаний и др. Одним из важнейших результатов комплексного моделирования на этой стадии должно стать обоснование возможности распространения результатов испытаний опытного участка ИУС на систему полного состава.

В рамках опытной эксплуатации и применения ИУС важную роль играют все виды моделей.

Выбор той или иной технологии моделирования информационно-управляющих систем определяется с учетом реальных условий и требований заказчика работ по их созданию и развитию.

Тенденция развития комплексного моделирования информационно-управляющих систем на основе совершенствования информационно-технологической инфраструктуры для научных исследований и разработок приобретает высокую актуальность на перспективу с учетом появления высокопроизводительных вычислительных центров (суперкомпьютеров).

3. Направления исследований

В рамках перспективных направлений исследований по развитию методов комплексного моделирования ИУС можно выделить достижение следующих наиболее значимых результатов:

– методы представления ИУС в общем виде как многофункциональной многоуровневой территориальной распределенной системы;

– методология обоснования требований к ИУС в целом и их дифференциация по ее структурным и функциональным компонентам;

– комплекс моделей ИУС различного назначения для оценки их основных показателей на основе применения аналитических, имитационных и натурных моделей;

– комплекс моделей для реализации функциональной совместимости (интероперабельности) разнородных функциональных систем в составе ИУС;

– комплекс моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для анализа структур информационных потоков и подготовки исходных данных для построения моделей ИУС, адекватно отражающих процессы в реальной системе;

– комплекс моделей для анализа больших данных на базе проблемно-ориентированных подходов и решений в области искусственного интеллекта и машинного обучения.

В качестве необходимых условий для постановки и успешного проведения фундаментальных и прикладных исследований по разработке методов комплексного моделирования следует назвать:

1. Создание и обеспечение деятельности крупных центров компетенций в области комплексного моделирования ИУС в составе ведущих ВУЗов и промышленных предприятий, содержащих наиболее презентативные аппаратно-программные компоненты ИУС;

2. Создание доверенных программных комплексов для имитационного моделирования ИУС с использованием в рамках исследований ресурсов высокопроизводительных суперкомпьютерных систем;

3. Разработку нормативно-технической базы (комплекса стандартов, например, на базе ТК22), определяющей условия и содержание работ по комплексному моделированию ИУС;

4. Целевую подготовку специалистов в области математического моделирования и компьютерных наук, способных обеспечить формализацию постановки задач по комплексному моделированию ИУС на основе современных математических методов и методов

программирования, а также их решение с использованием современных вычислительных систем.

Заключение

Предложен новый концептуальный подход к моделированию информационно-управляющих систем, основанный на комплексном применении методов аналитического, имитационного, натурного моделирования, а также моделирования исходных данных на основе анализа больших данных. Методы комплексного моделирования позволяют учесть положительные стороны отдельных видов моделирования и должны обеспечить объективную интегральную оценку показателей эффективности ИУС.

Список литературы

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента РФ от 28 февраля 2024 г. № 145 [Электронный ресурс] : банк документов – Режим доступа: http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358
2. Национальный проект «Экономика данных» [Электронный ресурс] : банк документов – Режим доступа: http://government.ru/rugovclassifier/909/events/
3. Мизин, И. А. Современное состояние проблематики интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей / И. А. Мизин // Системы и средства информатики: Выпуск 9. – М.: Наука. Физматлит, 1999. С. 11-23.
4. Зацаринный, А. А. Система обмена данными: люди, события, факты : монография / А. А. Зацаринный. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2021. 516 с.
5. Соколов, И. А. Игорь Александрович Мизин – ученый, конструктор, человек : биография / А. А. Соколов – М.: ИПИ РАН, 2010. – 319 с.
6. Мизин, И. А. Сети коммутации пакетов : учебник для вузов / И. А. Мизин, В. А. Богатырев, А. П. Кулешов. – М. : Радио и связь, 1986. – 408 с.
7. Антонов, С. В. Математическое моделирование как инструмент исследования и проектирования телекоммуникационных систем / С. В. Антонов, И. А. Соколов, С. Я. Шоргин // Системы и средства информатики – М.: Наука. Физматлит, 1999. – №9. – С. 34-44.
8. Комплекс программно-математических средств моделирования информационно-телекоммуникационных систем / И. А. Соколов [и др.] // Системы и средства информатики. – 2006. – №16. – С. 5-31.

О подходах к внедрению сервисной модели общественных отношений на основе цифровых технологий

А. А. Зацаринный, email: alex250451@mail.ru
В. И. Меденников, email: dommed@mail.ru

ФИЦ ИУ РАН

Аннотация. *В статье рассматривается концепция трансформации продуктовой модели общественного развития в сервисную на базе разработанной цифровой платформы для управления отдельными отраслями экономики страны. Концепция предусматривает разработку цифрового инструмента формирования в организациях, в отдельных случаях у физических лиц, экосистемной модели потребления, которая отражает возросший социальный заказ на более эффективное использование убывающих природных ресурсов, а также на снижение экологических нагрузок на окружающую среду. Актуальность предлагаемого подхода обуславливается процессами цифровой трансформации.*

Ключевые слова: *экосистема, цифровая экономика, цифровая платформа управления, цифровой стандарт, первичной учет, математическая модель.*

Введение

Международная комиссия по окружающей среде и развитию по поручению Генеральной Ассамблеей ООН еще в 1987 г. ввела термин экосистемного подхода, под которым понимается разработка устойчивого экологически чистого развития всего мира. Глобальной целью такого подхода является обеспечение мер по защите планеты от негативных аспектов деятельности людей с необратимыми последствиями для всей экосистемы Земли [1].

Терминология социально-экономических экосистем (ЭС) была привнесена из природных, под которыми ЭС понимается как набор живых организмов и элементов физической среды, взаимодействующих друг с другом в границах некоторой исследуемой с точки зрения достижения целевых показателей системы [2]. В соответствии с этим социально-экономические ЭС также состоят из некоторых рассматриваемых активных экономических агентов, действующих совместно с учетом заданного множества элементов окружающей среды

© Зацаринный А. А., Меденников В. И., 2025

в рамках опять же заданной системы со своими ограничительными и целевыми показателями, получая некоторый выигрыш от этого [3, 4].

Исследования ЭС в настоящее время осуществляются в рамках цифровой трансформации с использованием информационных технологий, позволяющих более эффективно управлять, как защитой окружающей среды, так и бережным использованием ограниченных природных ресурсов [5].

В статье информационные технологии используются в интересах решения двух основных задач: формирование системы управления информационными ресурсами (ИР) на рациональных интеграционных технологиях; комплементарные изменения всей системы управления производством на основе полученной интеграции огромного массива ИР.

В статье рассмотрены вопросы формирования в рамках упомянутых задач цифрового инструмента для информационной и алгоритмической интеграции большого числа разнородных ИР с учетом взаимовлияния множества определяющих их факторов в различных отраслях деятельности общества.

1. Цифровая платформа управления экономикой

Рассмотрим основные принципы построения цифровой платформы для управления производством (ЦПУ), предложенную в [6, 7, 8]. ЦПУ включает три подплатформы в облачной среде (цифровые стандарты):

– сбора и хранения первичных учетных ИР в едином формате в облачной базе данных (БД) (рис. 1);
– технологических учетных облачных БД;
– набор алгоритмов управленческих задач (баз знаний).

Первый стандарт, по замыслу, является межотраслевым, универсальным, форматом для всех отраслей экономики, два других имеют сугубо отраслевой характер. В ЦПУ также должен быть предусмотрен информационный компонент, включающий единые классификаторы, словари, справочники. Основная функция первого стандарта – сбор и хранение для использования в дальнейшем всех технологических операций, включая Интернет вещей.

Заметим, первый и третий стандарты получили подтверждение в цифровизации сельскохозяйственной отраслью США [9]. Однако, ЦПУ явится цифровым интегратором не только подотраслей сельского хозяйства, но и всех производственных отраслей России [10]. Это является следствием очевидного вывода, что фрагментарность проектирования цифровых решений вступает в резкое противоречие со значительно возрастающими технологическими требованиями цифровой экономики.

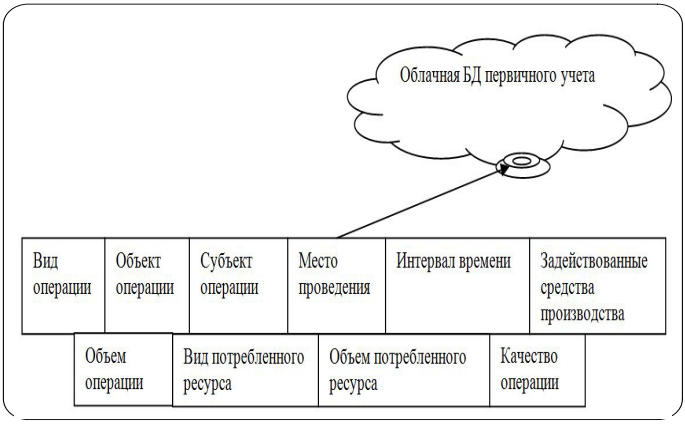


Рис. 1. Схема учета совершенных технологических операций по единому формату

Цифровые технологии в настоящее время обеспечивают решение множества сложных функциональных задач, которые, в свою очередь, требуют интеграции большого количества структурированной информации. В силу же практической невозможности при этих ограничениях разработки оригинальных ЦПУ для каждого конкретного предприятия естественно возникает необходимость в формировании типового решения совместного использования большим числом их. При этом неизбежно встает проблема создания единых понятийных, информационных и алгоритмических пространств, оформленных в виде цифровых стандартов, не только для отдельной, но и для некоторых смежных отраслей, а в дальнейшем и для большинства с распространением выделенных стандартов на них. При фрагментарном же подходе каждое предприятие оперирует своими онтологиями.

2. Экосистемный цифровой инструмент трансформации продуктовой в сервисную модель в социально-экономической сфере

Как уже отмечалось выше, в мире наблюдается резко возросший социальный заказ на переход в социально-экономической сфере от продуктовой к сервисной модели, поскольку последняя связывает экологическую составляющую с системной, основанной на интеграции ИР, алгоритмов и данных интернета вещей. В основе продуктовой модели под мощным воздействием рекламы и человеческих слабостей у населения сформирована привычка гонки за возможностью обладать товаром, часть которых либо редко используются, либо совсем бесполезны. Растущая рыночная конкуренция из-за технологического

прогресса ведет к тенденциям сокращения сроков службы, снижения качественных характеристик продукции у многих производителей. Такое поведение заставляет увеличивать материальные издержки на производство, как правило, в виде невосполнимых природных ресурсов, с одновременным возрастанием нагрузки на экологию, лишая в будущем маневра человечества по поиску путей выживания.

В основе же сервисной модели социально-экономических отношений находится концепция удовлетворения формируемых потребностей пользователей посредством предоставления им результата использования продукции производителями, которые несут ответственность за результат использования клиентами ею на основании обратной связи по ряду параметрам этого процесса на всех этапах жизненного цикла продукта или услуги, например, соблюдения правил эксплуатации и пр. Интернет вещей на основе встраивания датчиков в изделия является технической основой этой модели, когда изготовитель за счет регистрации нужных параметров может получать всю информацию о техническом состоянии, о соблюдении правил эксплуатации его как в статическом, так и в динамическом режимах. Отметим, что отдельные эксперименты по внедрению элементов сервисного подхода уже реализуются в различных сферах.

Так, в Барселоне открылся небольшой кинотеатр, в котором при демонстрации фильма за зрителями следят десятки камер с анализом различных эмоций на их лицах. Оплата же просмотра фильма осуществляется на выходе из зала, которая прямо пропорциональна времени реакции на ту или иную эмоцию (улыбка, смех, пр.). Если же ни разу у посетителя не проявилась нужная эмоция на лице, то оплаты совсем не будет. Таким образом, демонстрация фильма – это и есть сервис с продажей конечного результата в виде нужной эмоции.

Далее, в аэропорту Схипхол Амстердама на протяжении уже 10 лет компания Philips в полном объеме выполняет функции эксплуатации системы освещения на основе светодиодных ламп, а аэропорт лишь платит за электричество [11].

В отрасли гражданской авиации – ведущие мировые производители самолетов уже, как правило, не продают, а практически сдают их в бессрочную аренду для эксплуатации авиакомпаниями.

Даже из перечисленных примеров очевидно, что при переходе на сервисную модель производители вынуждены заботиться о качестве, долгосрочности, экологичности работы продукции, что предполагает с неизбежностью распространения ее подходов и на их контрагентов-поставщиков продуктов и сервисов, а также и на партнёров из других отраслей. При таком экосистемном подходе будет востребована

концепция прослеживаемости товаров, которая предполагает возможность проверки каждым участником цепочки поставок в онлайн-режиме сведений как раз о качестве, безопасности и легальности продукции, а органы контроля получить доступ к более полному спектру сведений о ней [7]. Представители же, придерживающиеся продуктовой модели, будут всячески противиться внедрению механизма прослеживаемости.

3. Цифровой механизм стимулирования перехода на сервисную модель потребления

Практическую реализацию сервисной модели социально-экономических отношений с механизмами стимулировании перехода на нее в рамках ЦПУ рассмотрим в данном разделе. Из рис. 1 следует, что единая ЦПУ кроме реализации прослеживаемости продукции вполне способна к эффективному внедрению механизма прослеживаемости и исполнителей технологических операций, в частности качества их исполнения с соблюдением трудовой дисциплины. При интеграции же этой информации с имеющейся в отделе кадров о каждом работнике с размещением всего этого набора ИР в облаке будет обеспечена возможность формирования трудового цифрового двойника (ЦД) работника.

Так, интеграционные технологии ЦЭ обеспечили разработку в Эстонии некоторого полнофункционального ЦД (ПЦД) жителя на тот момент на базе системы X-Road, объединившей около 170 целевых ЦД граждан целой страны. X-Road – это информационная система (ИС), в которой прописаны и разработаны единые интерфейсы и протоколы взаимодействия и обмена ИР обо всех жителях страны. Каждое государственное учреждение, выполняющее функции в сфере образования, здравоохранения, общественного порядка, сбора налогов, автотранспорта и пр., в свое время при позадачном проектировании ИС создавали свои базы данных жителей страны, которые можно отнести к целевым ЦД, которые были онтологически и функционально несовместимы и работали на различных программных средствах. Центральный блок X-Road, находящийся в Министерстве экономики и коммуникаций, обеспечивает совместимость циркулирующей в системе информации по формату, датам. Теперь это основа всей системы госуслуг в Эстонии [12].

В современном Китае более грандиозней пытаются реализовать идеи X-Road в виде системы социального кредита (SCS), дополняя БД ПЦД социальными, экономическими, бытовыми сведениями, информацией с видеокамер о каждом жителе страны. Формируемая при этом система поощрений и наказаний жителей приучает соблюдать

некие нормы поведения, и, что очень существенно – чиновников. Например, достижение жителем некоторого уровня рейтинга в системе SCS обеспечивает человеку: скидки до 25% на проезд на многих транспортных средствах, кредиты в банках с пониженной ставкой почти на треть, скорость интернета в соответствии с рейтингом, большие шансы при приеме на работу и еще ряд возможностей. Аналогично, пониженный рейтинг SCS ведет к ущемлению некоторых возможностей. Отдельные элементы подобного подхода заметны во всем мире, в частности при введении повышенного налога на роскошь. Единая ЦПУ в сочетании с экосистемной сервисной моделью потребления позволит распространить данный вид налога на количество имеющейся обуви, одежды, других товаров с учетом уже и экологических требований.

Кроме того, ЦПУ позволит с системных позиций решать многие назревающие экологические проблемы, в частности в области АПК путем перехода на цифровые природоохранные технологии. Так, ежегодно в мире из-за индустриализации всей продовольственной цепочки от производства до конечного потребления происходит потеря свыше 30% всех продуктов питания [13]. Данные потери оказывают влияние в дальнейшем на цены, на рост нагрузки на экосистемы Земли, на чрезмерные расходы многих ресурсов, в конце концов, на экологии. Например, рассмотрим слабо предсказуемые последствия индустриализации продовольственной цепочки. Возникшие первые микроорганизмы на планете миллиарды лет назад послужили началом образованию почвы, в которой сложившаяся экосистема напоминает безотходное производство с возвращением всей потребленной органики обратно в экосистему. В сложившимся равновесии высшие растения научились добывать питательные элементы не только в виде удобрений, но и благодаря симбиозу их с бактериями, с грибами, с другими организмами. Деятельность человека привела к разрыву сложившейся системы взаимодействия, компенсируя возникающий ущерб химическими средствами, отрицательно воздействуя на экологию. ЦПУ в этом случае могла бы воздействовать на воспитание экосистемной культуры питания, на формирование оптимальной логистики поставок продукции и сырья, на разработку технологий повторного использования и переработки отходов и остатков.

Тогда схема механизма стимулирования перехода на экосистемную сервисную модель потребления будет иметь вид, представленный на рис. 2.

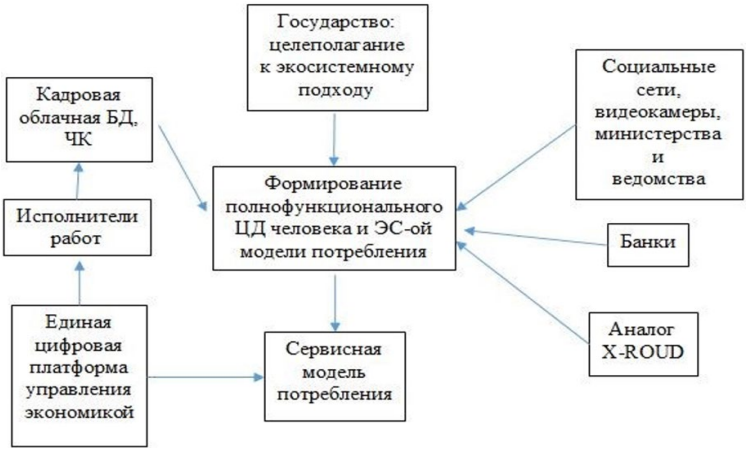


Рис. 2. Схема механизма стимулирования перехода на экосистемную сервисную модель потребления

Заключение

В статье представлен цифровой инструмент в виде цифровой платформы управления экономикой страны, наиболее эффективно на базе экосистемного подхода решающий проблему трансформации продуктовой модели общественного развития в сервисную.

Предложена концепция формирования на базе ЦПУ в организациях, в отдельных случаях у физических лиц, экосистемной модели потребления, которая отражает возросший социальный заказ на более эффективное использование убывающих природных ресурсов, а также на снижение экологических нагрузок на окружающую среду.

Показано, что в мире отдельные элементы данной концепции и ЦПУ начинают воплощаться в жизнь: в США в сфере сельского внедряются прообразы двух стандартов ЦПУ, в Китае в виде системы социального кредита (SCS).

Список литературы

1. Зацаринный, А. А. Теория и практика цифровой трансформации общества в рамках приоритетов научно-технологического развития России / А.А. Зацаринный, К.К. Колин // В сборнике «Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности». – 2019. – № 1 (2). – С. 29-39.

2. Tansley, A. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms / A. Tansley // Vegetational Concepts and Terms. – 1935. – P. 284-307.

3. Acs, Z.J. National systems of entrepreneurship / Z.J. Acs, D.B. Audretsch, E.E. Lehmann, G. Licht // Small Buzines Econimics. – 2016. – Vol. 46. – № 4. – P. 527-535.

4. Acs, Z. J. National systems of Innvation / Z.J. Acs, D.B. Audretsch, E.E. Lehmann, G. Licht // Journal of Technology Transfer. – 2017. – Vol. 42. – № 5. – P. 997-1008.

5. Райков, А. Н. Анализ опыта цифровой трансформации в мире для сельского хозяйства России / А.Н. Райков, В.И. Меденников // Труды III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Тенденции развития Интернет и цифровой экономики». – Симферополь: ИП Зуева Т. В. – 2020. – С. 57-62.

6. Зацаринный, А. А. Интеграция приложений искусственного интеллекта в единую цифровую платформу АПК / А.А. Зацаринный, В.И. Меденников, А.Н. Райков // Информационное общество. – 2023. – № 1. – С. 127-138.

7. Меденников, В. И. Математическая модель формирования цифровых платформ управления экономикой страны / В. И. Меденников // Цифровая экономика. – 2019. – №1(5). – С. 25-35.

8. Алексеева, Н. А. Экономические и управленческие проблемы землеустройства и землепользования в регионе / Н.А. Алексеева, А.К. Осипов, В.И. Меденников и др. // Ижевск: Шелест. – 2022. – 225 с.

9. Китов, В. А. Формирование цифровых стандартов – одно из требований современности / В.А. Китов, В.И. Меденников // Цифровая экономика. – 2024. – № 1(27). – С. 45-53.

10. Меденников, В. И. Цифровые стандарты – основа интеграции цифровых платформ АПК и других отраслей / В.И. Меденников, Ю.И. Микулец // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. – 2021. – № 1. – С. 208-226.

11. Никерина, Е. Бизнес-тренд: продукт как сервис. URL: https://gb.ru/posts/biznes-trend-produkt-kak-servis (дата обращения: 25.12.2024).

12. Меденников, В. И. Эффективность использования информационных интернет-ресурсов научно-исследовательских учреждений аграрного направления / В.И. Меденников, Л.Г. Муратова, С.Г. Сальников, В.В. Луппов, А.А. Личман // М. : Аналитик. – 2018. – 237 с.

13. Шулятьева, Г. М. Утилизация пищевых отходов с начальной стадией в местах возникновения как направление устойчивого развития аграрного бизнеса / Г.М. Шулятьева // Вестник Вятской ГСХА. – 2021. – № 2 (8). – С. 9.

Модели управления зонами покрытия спутниковой связи для Интернета вещей

Д. А. Иванов, e-mail: 1142230113@pfur.ru

Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы

Аннотация. *Объектом исследования является система спутниковой связи для Интернета вещей (IoT), предназначенная для обмена данными между удалёнными IoT-устройствами и централизованными серверами через спутники. Предметом исследования являются модели и алгоритмы управления зонами покрытия спутниковой связи в удалённых и труднодоступных регионах, разрабатываемые с учётом ограниченных вычислительных ресурсов и необходимости оперативного анализа данных. Основное внимание уделено организационным подходам, включающим поддержку принятия решений и централизованный анализ данных, что позволяет повысить устойчивость и качество сети в условиях постоянных изменений инфраструктуры, природных и техногенных катастроф. Новизна разрабатываемой модели управления зонами покрытия спутниковой связи для Интернета вещей заключается в использовании модели организации и поддержки принятия решения по изменению параметров в наземном комплексе управления и подсистеме управления оконечными устройствами в системе управления интернетом вещей. Разработанные подходы обеспечивают повышение качества связи и пропускной способности сети, сокращение задержек и устойчивое функционирование в сложных эксплуатационных условиях.*

Ключевые слова: *системный анализ, спутниковая связь, Интернет вещей, модели управления.*

Введение

Технология Интернета вещей (IoT) позволяет подключённым устройствам, оснащённым рядом датчиков и механизмов, считывать и передавать данные о состоянии окружающей среды, объектах и ресурсах. Сети IoT функционируют в условиях постоянных изменений, таких как возведение новых объектов, экранирующих спутниковые сигналы, задержки передачи данных и увеличение числа природных и техногенных катастроф. Эти факторы влияют на стабильность сети и требуют адаптивного подхода к управлению. Однако практический опыт

© Иванов Д. А., 2025

показывает, что технические меры не всегда достаточны без соответствующей организационной поддержки.

В условиях стремительного роста количества подключённых устройств [1], использующих технологии (IoT), возникает необходимость в создании оптимизированной структуры управления.

Кроме того, традиционные методы управления мобильной сетью [2] не всегда эффективно справляются с динамическими изменениями городской среды и могут не учитывать все факторы, влияющие на устойчивость связи. Существующие системы спутниковой связи для интернета вещей нуждаются в совершенствовании функциональных возможностей, поэтому имеет место следующая актуальная задача – разработка моделей и алгоритмов управления зонами покрытия, которые позволяет сократить время и повысить точность принятия решения в интересах обеспечения устойчивости IoT- сети.

1. Существующие решения в области управления зонами покрытия спутниковой связи

Спутниковые технологии играют ключевую роль в обеспечении связи для IoT-устройств, особенно в труднодоступных регионах, где традиционные наземные сети не могут быть развёрнуты. В таких местах, как Арктика, Сибирь и удалённых сельских районах России, развитие наземной инфраструктуры затруднено из-за суровых климатических условий и высоких затрат на её строительство и обслуживание.

Низкие орбиты обеспечивают более быструю двустороннюю передачу данных, что критично для таких задач, как управление беспилотными транспортными средствами, мониторинг в режиме реального времени и экстренные службы. Основными преимуществами российских низкоорбитальных систем являются их адаптация к климатическим и территориальным условиям страны, а также независимость от иностранных технологий [3].

Геостационарные спутники, такие как "Экспресс-АМ", обеспечивают широкий охват территорий, что особенно важно для регионов с низкой плотностью населения, а также стабильное и длительное время работы, что делает их надежными для IoT-систем в сельском хозяйстве, добыче ресурсов и транспорте. Однако запуск геостационарных спутников требует значительных финансовых вложений, а задержка сигнала до 600 мс может быть критичной для приложений Интернета вещей, требующих минимальных задержек.

Анализ моделей управления спутниковой связью для IoT показал, что наиболее эффективной для России является гибридная система с низкоорбитальными и геостационарными спутниками. Она

минимизирует задержки и обеспечивает высокую пропускную способность. Из структурной схемы, представленной на рис. 1 следует, что управление в системе спутникового интернета вещей зависит от основных функциональных подсистем и определенных взаимосвязей между ними. Управление спутниковым интернетом вещей организовано через комплексную систему, включающую несколько уровней и подсистем, которые взаимодействуют между собой для обеспечения непрерывности и качества связи [4].

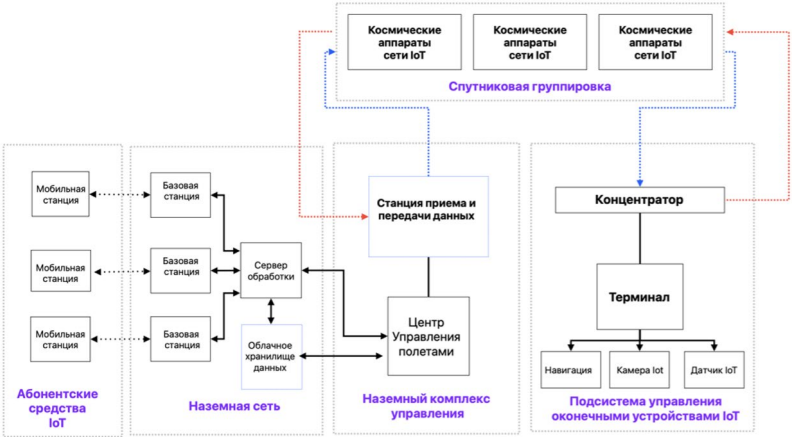


Рис. 1. Структурная схема управления спутниковым интернетом вещей

Анализ структуры помогает понять, как различные подсистемы влияют на работу всей системы. Центр управления полетами координирует работу спутников, поддерживая связь между наземной сетью и удалёнными устройствами IoT. Спутники обеспечивают покрытие труднодоступных территорий, ретранслируя сигналы от наземных станций к IoT-устройствам и обратно.

Введение новых алгоритмов управления стало актуальной задачей ввиду стремительного роста городской инфраструктуры и увеличения числа пользователей. В условиях ограниченности вычислительных ресурсов и сложности моделирования реальной городской среды дополнительные алгоритмы помогут поддерживать стабильность и качество сети, адаптируясь к изменениям в реальном времени. В связи с этим предложено разработать модели и алгоритмы системы управления сетью, которые затем внедряются в сеть для улучшения её работы.

2. Разработка модели по управлению зонами покрытия спутникового Интернета вещей в интересах обеспечения устойчивости сети

Внедрение новых моделей алгоритмов управления в систему мобильной связи предполагает последовательное выполнение нескольких этапов, направленных на поддержание устойчивости сети в условиях динамически изменяющейся городской инфраструктуры [5].

На рис. 2 представим процесс управления системой спутникового Интернета вещей с разрабатываемыми моделями поддержки принятия решения. Разрабатываемые модели управления зонами покрытия включают в себя алгоритмы постоянного мониторинга зон покрытия и анализа изменений в условиях эксплуатации. Модели собирают данные о состоянии сети и охвате, чтобы в реальном времени предложить оптимальные параметры для каждого спутника и конечного устройства. На основе этих данных генерируются оптимизационные решения, направленные на поддержание стабильного соединения и высокой пропускной способности. Эти решения проходят оценку и утверждение лицом, принимающим решения, после чего внедряются через наземный комплекс управления, который координирует работу как спутников, так и конечных устройств сети.

В этом процессе используются данные от абонентских устройств, наземных комплексов управления и спутниковой группировки. После сбора данных проводится их анализ с использованием математических моделей, которые позволяют выявить проблемы сети, такие как увеличение задержек, снижение пропускной способности или обнаружение аномалий. Данные о состоянии сети собираются от мобильных и базовых станций и обрабатываются сервером, после чего поступают в наземный комплекс управления и подсистему управления оконечными устройствами IoT [6]. На основании полученных данных разрабатываются оптимизационные стратегии, применяемые для улучшения качества связи. Качество системы спутниковой связи определяется совокупностью ее показателей: процент территории покрытия, устойчивость соединения, пропускную способность, отсутствие задержек и искажений, а также надежность передачи данных.

Модель должна включать инструменты для автоматизации процесса принятия решений о выборе оптимальных зон покрытия, что позволит оперативно адаптироваться к изменениям в сети и минимизировать задержки. Также важно учитывать задачу передачи больших объёмов данных от множества устройств через спутники, оптимизируя объём передаваемой информации без потерь [7].

Оптимизационные решения, связанные с управлением зоной покрытия и сетевыми ресурсами, проходят оценку и утверждение лицом принимающим решение. После этого их внедрение происходит через наземный комплекс управления, который координирует и оптимизирует работу как спутников, так и конечных устройств сети.

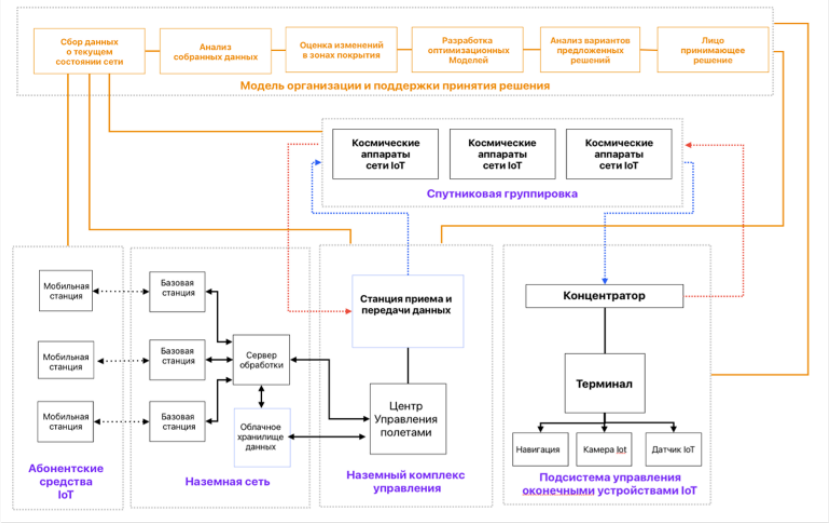


Рис. 2. Внедрение модели организации и поддержки принятия решения в управление системой спутникового Интернета вещей

Заключение

Внедрение организационных решений в управление сетями IoT открывает новые возможности для повышения их эффективности и устойчивости. Синергия между анализом данных, оптимизацией ресурсов и поддержкой принятия решений позволяет минимизировать влияние внешних факторов и обеспечить стабильную работу сети. Будущие исследования в данной области должны сосредоточиться на разработке универсальных организационных моделей, адаптируемых к различным условиям.

Список литературы

1. Теория электрической связи: учебное пособие / К.К. Васильев, В.А. Глушков, А.В. Дормидонтов, А.Г. Нестеренко; под общ. ред. К.К. Васильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – С. 452

2. Рожкова А.А. Формирование оптимальной зоны покрытия в сотовых системах связи // Современные наукоемкие нехнологии. – 2014. – № 5-2. – С. 54-54

3. Ань, Н. Д. Система "Марафон IoT" и новый рынок спутникового IoT / Н. Д. Ань, А. Ершов // Технологии и средства связи. – 2021 – с. 75-80

4. Гадисова, А. М. Обзор современных систем управления сетями связи и их применения / А. М. Гадисова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2022. – № 6 (401). – С. 9-11

5. Пятибратов, А.П. Вычислительные машины, сети и телекоммуникационные системы: учеб. пособие пособие / А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. / под ред. А. П. Пятибратова. М., – 2005 – С. 286

6. Прокофьева, О. Перспективы спутниковых технологий на рынке M2M/IoT / О. Прокофьева // Технологии и средства связи. – 2017– С. 44-47

7. Спутниковые системы связи в индустрии интернета вещей / Т. В. Русанова, А. Ю. Кочанов, А. П. Денискин, В. В. Золотухин // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей по итогам XII международной научной конференции/ – С. 222-223

Мониторинг кредиторской задолжности в SAP S/4 HANA

И. В. Илларионов, email: igor.illarionov@gmail.com
Н.С. Богданова, email: bogdanova@cs.vsu.ru
Ю. А. Ребрикова, email: juliarebrikova495@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе разработана и внедрена методика автоматизации контрольных процедур в SAP S/4 HANA. Проведено тестирование предложенной методики, проанализированы результаты и приведена оценка эффективности*

Ключевые слова: *информационная система, информационные технологии, ERP-системы, автоматические контрольные процедуры, SAP S/4HANA, SAP GRC PC.*

Введение

В современном мире информационных технологий, где компании используют сложные корпоративные системы управления, такие как SAP S/4 HANA вопросы безопасности и целостности данных становятся все более актуальными. Одним из ключевых аспектов в этой области является кредиторская задолженность в системах управления предприятием. Внедрение АКП позволит снизить количество ошибок и трудозатрат на их исправление.

Автоматические контрольные процедуры в SAP S/4 HANA – это встроенная функция системы, позволяющая автоматически контролировать выполнение тех или иных бизнес-процессов и бизнес-правил, обеспечивая их соответствие регламентам и требованиям в компании. Разработка и внедрение автоматических контрольных процедур в организацию является важнейшим шагом для обеспечения безопасности и качества бизнес-процессов в SAP S/4 HANA и повышения эффективности работы всей компании в целом.

Эффективное управление кредиторской задолженностью является ключевым фактором для обеспечения финансовой устойчивости и успешного функционирования компании. SAP S/4 HANA – это инновационная система управления предприятием, предлагающая широкий спектр возможностей для автоматизации процессов управления бизнесом, включая управление кредиторской задолженностью.

© Илларионов И. В., Богданова Н. С., Ребрикова Ю. А., 2025

Автоматизированные контрольные процедуры

Автоматизированные контрольные процедуры – комплекс мер, направленных на обеспечение надежного и безопасного функционирования системы, процесса или организации. Они решают важные задачи, такие как выявление, оценка и управление рисками, а также соответствие установленным стандартам, политикам и законодательству.

Процедуры охватывают разные этапы, начиная с планирования и мониторинга и заканчивая анализом, аудитом и корректировками. Их цель – обеспечить сохранность, целостность и конфиденциальность данных, а также предотвратить возможные инциденты, связанные с безопасностью.

В целом контрольные процедуры можно сравнить со страховкой, которая обеспечивает стабильность и нормальное функционирование системы или процесса. Они играют ключевую роль в обнаружении и устранении потенциальных угроз и рисков, поддерживают доверие заинтересованных сторон и обеспечивают эффективное управление.

Особенно важны контрольные процедуры для обеспечения корректности бухгалтерской отчетности. Они помогают обнаруживать возможные ошибки, вызванные техническими сбоями или недочетами при вводе данных, а также гарантируют точность бухгалтерских записей согласно стандартам бухгалтерского учета.

Более того, контрольные процедуры защищают от мошенничества и ошибок, таких как неправильное выставление счетов или несанкционированный доступ к компьютерным системам. Они имеют большое значение для предотвращения утечек конфиденциальных данных, например, информации о клиентах или финансовых отчетах.

Также контрольные процедуры помогают соблюдать правила и законодательство, касающиеся бухгалтерской отчетности и защиты данных.

Использование современных информационных систем, таких как SAP S/4 HANA, позволяет автоматизировать многие из этих процедур, ускоряя их выполнение и повышая эффективность бизнес-процессов, снижая вероятность ошибок и мошенничества.

Автоматизация контрольных процедур в SAP S/4 HANA

Встроенные автоматические контрольные процедуры в SAP S/4 HANA представляют собой механизмы, которые непрерывно анализируют, проверяют и контролируют бизнес-процессы и транзакции в режиме реального времени. Эти процедуры разработаны для обеспечения соответствия установленным стандартам, правилам и

политикам компании, а также для минимизации рисков и предотвращения ошибок.

Основные типы автоматических контрольных процедур в SAP S/4 HANA включают:

- контрольные точки (Checkpoints) – это точки в бизнес-процессах или транзакциях, где система автоматически проверяет соответствие определённым условиям или правилам. Например, при оформлении заказа система может проверить наличие достаточного количества кредита у заказчика для совершения покупки.
- автоматические предупреждения (Automatic Warnings): система может отправлять предупреждения или уведомления пользователям о возможных проблемах или нарушениях, выявленных в ходе выполнения операций. Например, при превышении установленного лимита расходов на проект система отправит предупреждение ответственному менеджеру.
- блокировки (Blockages): если обнаружены серьезные нарушения или превышение определённых границ, установленных политиками компании, ERP-система SAP S/4 HANA может автоматически запретить выполнение определенных действий или транзакций. Например, при обнаружении несанкционированного доступа к финансовой информации система закроет доступ к соответствующим ресурсам.
- корректирующие действия (Corrective Actions): в некоторых ситуациях система может автоматически выполнить корректирующие действия для устранения найденных ошибок или несоответствий. Например, при обнаружении дублирующих записей в базе данных S/4 HANA система в автоматическом режиме удалит лишние записи.

Существующие подходы к автоматизации контрольных процедур

Существует несколько основных подходов к автоматизации контрольных процедур в SAP S/4HANA, каждый из этих подходов может быть использован при разработке АКП в зависимости от поставленных целей и задач:

- использование встроенных инструментов системы: SAP S/4HANA предлагает широкий набор инструментов для контроля данных и бизнес-процессов, таких, как проверка правильности заполнения данных, встроенные отчёты и аналитические инструменты для анализа данных и выявления отклонений.

– создание собственных правил и процессов: SAP S/4HANA позволяет настроить собственные бизнес-правила и процессы для контроля и управления бизнес-процессами, обеспечивая точные критерии контроля и оптимизацию процессов работы с данными.
– использование сторонних решений: на рынке существует множество сторонних решений для автоматизации контрольных процедур в SAP S/4HANA, которые могут предоставить дополнительные функции и возможности, отсутствующие в стандартных инструментах системы.
– использование машинного обучения и искусственного интеллекта: SAP S/4HANA обладает встроенными возможностями машинного обучения и искусственного интеллекта для автоматизации контрольных процедур, например, автоматического выявления аномалий и ошибок в данных.

В целом, подходы к автоматизации контрольных процедур в SAP S/4HANA разнообразны и могут быть выбраны в зависимости от ваших потребностей и целей. Часто используется комбинация разных подходов для достижения наилучших результатов.

Разработка методики автоматизации контрольных процедур в SAP S/4 HANA

Методика разработки автоматической контрольной процедуры в SAP S/4 HANA включает следующие этапы:

1. Определение требований к контрольной процедуре:
   – формулирование бизнес-процессов и транзакций, для которых будет использоваться АКП;
   – определение целей, задач и критериев соответствия процедуры;
   – определение требований к точности, своевременности, безопасности, отчетности и другим аспектам, связанным с контролем.
2. Определение методов контроля:
   – выбор подходящих методов проверки и принятия решений, соответствующих требованиям и особенностям бизнес-процессов;
   – определение набора условий, которые АКП должна проверять в процессе работы, или критериев, по которым она должна принимать решения. 3) Определение программных средств для реализации АКП:
   – выбор модулей SAP S/4 HANA или сторонних решений для расширения функциональности;

- оценка технических требований к системе и возможностей интеграции;
- выбор инструментов и технологий для реализации АКП.

3. Тестирование контрольной процедуры:
   - проверка правильности работы АКП на тестовых данных;
   - симуляция различных сценариев работы системы;
   - выявление ошибок и недочетов;
   - оценка эффективности и надежности АКП.
4. Запуск контрольной процедуры в продуктивной среде:
   - настройка и запуск АКП с реальными данными и транзакциями;
   - проверка соответствия требованиям и стандартам;
   - обеспечение правильной работы АКП и её интеграции с другими системами.
5. Мониторинг и сбор данных:
   - отслеживание работы АКП;
   - выявление аномалий и сбоев;
   - оценка влияния АКП на бизнес-процессы;
   - сбор данных для оптимизации и адаптации процедуры к изменяющимся условиям.

Разработка автоматизированной контрольной процедуры в SAP S/4 HANA требует глубоких знаний SAP и навыков программирования, а также проведения всестороннего тестирования перед запуском для обеспечения надёжности, безопасности и соответствия бизнес-процессам компании.

Создание АКП на основе выбранной методики

В работе представлена автоматическая контрольная процедура «Мониторинг кредиторской задолженности» в ERP-системе SAP S/4 HANA. Данная автоматическая контрольная процедура необходима для автоматического мониторинга кредиторской задолженности. Контроль за ней необходим для грамотного бюджетирования компании

Для реализации автоматической контрольной процедуры нужно применять все методы контроля, указанные ранее. Это обосновано важностью контрольной процедуры, и каждый метод играет свою роль:

- проверка полноты данных: в рамках реализации автоматической контрольной процедуры необходимо проверить полноту данных, например, дату исполнения обязательств, наименование контрагента и другие поля.
- проверка точности данных: нужно убедиться, что данные введены в систему корректно и без искажений. Наличие искажений может привести к неправильному расчёту итогового баланса, что негативно повлияет на показатели компании.

– проверка соответствия правилам: корректное определение кредиторской задолженности.
– проверка наличия дубликатов: проверка отсутствия повторяющихся записей о задолженности.
– проверка на наличие аномалий: аномальные записи в системе могут указывать на некорректное отражение фактов задолженности.

Внедрение процедуры происходит с использованием программных решений SAP GRC, SAP PC и функционала SAP Query на базе ERP-системы SAP S/4 HANA Cloud 2202. Код автоматической контрольной процедуры реализован на языке программирования ABAP.

При подготовке к запуску автоматический контрольной процедуры было проведено функциональное и интеграционное тестирование. В рамках тестирования был проведен тестовый запуск АКП на реальных данных из продуктивной системы компании на рис. 1.



Рис. 2. Отчет об успешном тестировании АКП

Автоматическая контрольная процедура «Мониторинг кредиторской задолженности» развернута и успешно запущена в продуктивной системе заказчика.

С помощью плановика контрольных процедур был настроен ежемесячный запуск процедуры (каждое 1-е число месяца). Такая периодичность запуска автоматической контрольной процедуры выбрана для ежемесячной проверки всей документации за прошедший месяц и оперативного обнаружения ошибок и/или расхождений, но в то же время не нагружает систему ежедневными проверками всей бухгалтерской документации. В случае необходимости начальник отдела или ответственный сотрудник может запустить автоматическую контрольную процедуру в ручном режиме.

Развёртывание контрольной процедуры в продуктивной системе заказчика предполагало следующие шаги:

– запуск веб-интерфейса Fiori и выбор плановика автоматизированных КП на соответствующей плитке на рис. 2

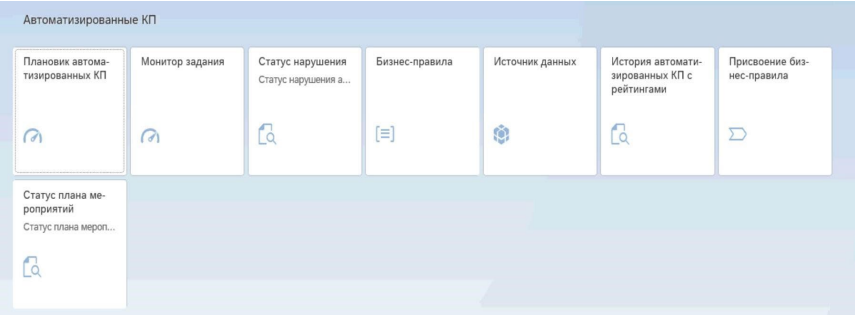


Рис. 3. Запуск плановика автоматизированных КП в SAP Fiori

– создание задания автоматизированного мониторинга в тестовой системе по данным за 2022 год на рис. 3:

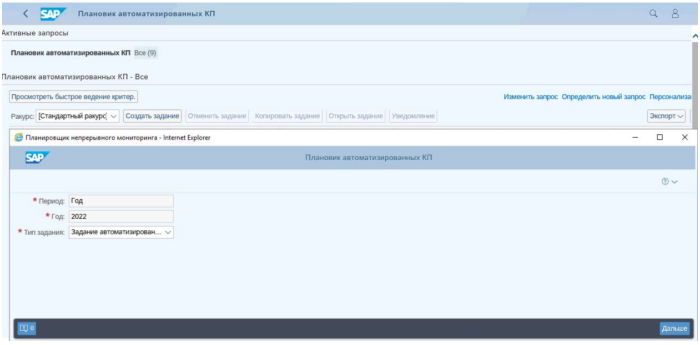


Рис. 4. Создания задания

На странице настройки контроля, которая указана на рис. 4 задания настраиваемый ежемесячный запуск автоматической контрольной процедуры в соответствии с требованиями.

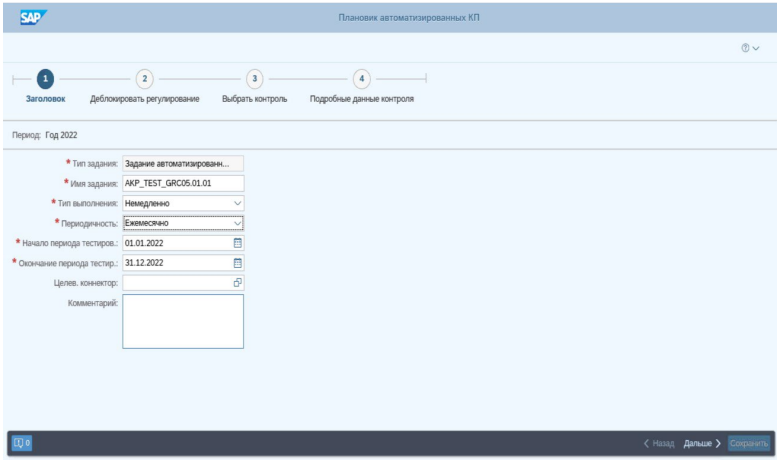


Рис. 5. Настройка задания

В разделе 2 плановика выбираем тип регулирования «Положение по ВК». Совместное использование регулирование с другими АКП отключено для корректной работы АКП указана на рис. 5.

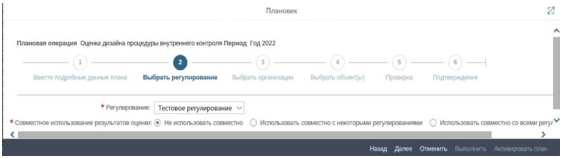


Рис. 6. Настройка регулирования

В разделе 3 «Выбрать контроль» указываем интересующую организацию, основной бизнес-процесс, под процесс и бизнес-правило, после чего запускаем автоматическую контрольную процедуру в тестовой системе, указано на рис. 6.

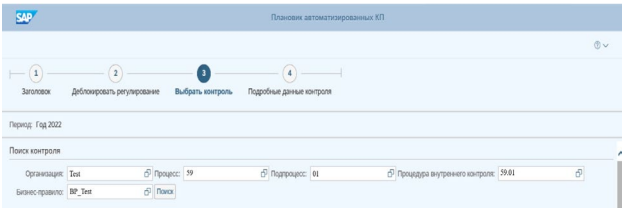


Рис. 7. Настройка контроля в SAP Fiori

Мониторинг и сбор данных

Благодаря мониторингу и сбора данных о работе АКП по полям такие как: заказ на поставку, позиция заказа на поставку, БЕ, наименование БЕ, поставщик, наименование поставщика, номер материала, наименование материала, количество по позиции, сумма по поставке, счет-фактура, позиция счет-фактуры, финансовый год, сумма в счет-фактуре, дата проводки в счет-фактуре, вид СФ и так далее, можно проанализировать эффективность процесса закупок и оплаты поставщиков, а так же управлять финансовыми потоками и оплаты без задержек. А также возможно выявлять проблемные зоны и улучшать работу с поставщиками. В целом, эти данные позволяют высокоэффективно управлять и взаимодействовать с финансовыми ресурсами и многими процессами в компании.

Данный отчёт формируется на ежемесячной основе и направляется ответственным за бизнес-процесс и направляет им по рабочей почте с помощью стандартного функционала SAP «Рабочая почта».

Автоматическая контрольная процедура выявила незарегистрированную кредиторскую задолженность 6 контрагентов на общую сумму 7.680.000 рублей, что составляет 18,8% от общей суммы кредиторской задолженности. Таким образом автоматическая контрольная процедура продемонстрировала свою эффективность и целесообразность внедрения в компаниях, использующих ERP-систему SAP S/4 HANA.

Заключение

В данной продемонстрированы преимущества использования функционала АКП в ERP-системе SAP S/4 HANA. АКП имеют широкий спектр применения и показывают крайне высокую экономическую эффективность на фоне простоты внедрения и использования персоналом заказчика в рамках продуктивных ERP-систем SAP S/4 HANA. Внедрение АКП позволяет повысить прозрачность бизнес-процессов предприятия, укрепить доверие владельцев и инвесторов к финансовой отчётность компании и выступают компенсирующим механизмом для сотрудников, которые могут совершить непреднамеренные ошибки из-за человеческого фактора, которые могут повлечь за собой проблемы с государственными органами и инвесторами. Все цели и задачи выпускной квалификационной работы были достигнуты, экономический эффект от внедрения АКП в продуктивной среде заказчика составил 7,68 миллионов рублей, что полностью окупает процесс внедрения АКП в SAP S/4 HANA, оценить экономический эффект из-за повышения доверия к отчётности компании не представляется возможным, но наличие АКП является важным

фактором при аудиторских проверках и первичного размещения акций компании на биржах.

Список литературы

1. Бранд Х. SAP R/3 и SAP S/4HANA. Управление бизнесом от процессов до систем / Х. Бранд, Л. Моних, Р. Хинкельман. – 1-е.– Вальдорф: SAP Press, 2016. – 250 с.

2. Фролов А SAP S/4HANA: функциональные возможности и управление проектами / А. Фролов, А. Буянов – 1-е. –М.: SAP Press, 2018. – 248 с.

3. Хоппер Р. SAP S/4HANA. Управление компанией. Настройка и использование / Р. Хоппер – 1-е. – Вальдорф: SAP Press, 2020. – 185 с.

4. Крылова Г. Программирование на ABAP для SAP S/4HANA / Г. Крылова, А. Чекалюк – 1-е – М.: SAP® PRESS, 2020. – 420 с.

Интеграция платформы SAP Hybris с SAP MDG

И. В. Илларионов, email: igor.illarionov@gmail.com
Н. С. Богданова, email: bogdanova@cs.vsu.ru
Ю. С. Черенкова, email: chere1201@mail.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Целью работы является анализ, проектирование и разработка интеграционной подсистемы обмена данными между e-Commerce платформой SAP Hybris и системой SAP MDG для ускоренной регистрации клиента через интернет-магазин. В результате достигнуто уменьшение трудозатрат на обработку данных путем реализации автоматической активации запроса на изменение после проверки качества данных, исключая ручные шаги, а также снижение времени на полную регистрацию клиента в несколько раз.*

Ключевые слова: *SAP ERP, SAP MDG, SAP Hybris, Интеграционный интерфейс*

Введение

В современном мире компании и предприятия накапливают огромное количество данных, представляющих собой важный ресурс для их деятельности. Благодаря эффективному анализу и обработке этих данных, можно извлекать ценную информацию, которая помогает в принятии стратегических решений, оптимизации процессов и повышении общей эффективности организации

На сегодняшний день, в условиях высокой конкуренции, все чаще стали происходить слияния и поглощения компаний, что в свою очередь приводит к такому явлению как интеграция систем. Любая организация, бизнес или же отдельно взятый человек – предприниматель понимает свою зависимость от информационных технологий, так как для всестороннего развития и получения дохода необходимы интеграция и согласованность информационных систем и приложений. В настоящее время информационные технологии используются практически повсеместно, что естественно порождает большой рост объёма цифровой информации.

Для эффективного использования данных необходимо решить проблемы сбора, синхронизации и использования актуальной

© Илларионов И. В., Богданова Н. С., Черенкова Ю. С., 2025

информации в масштабах предприятия. Интеграция позволяет поддерживать сквозные бизнес-процессы, охватывающие различные подразделения компаний.

Стоит отметить большую необходимость в знании и правильном использовании функционала информационных технологий, так как требования от бизнеса зачастую опережают возможности.

Модуль SAP MDG

Среди основных сложностей при работе с обширными объемами информации можно выделить недостаточность, несоответствие и повторение записей. Для эффективного использования данных необходимо умело их обрабатывать и структурировать.

Существует отдельная категория данных – мастер данные (Master Data), включающие информацию о клиентах, материалах и услугах, которая важна для ведения бизнеса. В настоящее время одной из главных задач крупных предприятий, использующих систему SAP и обладающих широкой производственной цепочкой, является разработка, внедрение и совершенствование системы управления мастер данными – SAP Master Data Governance или SAP MDG. На рис. 1 представлена структура модуля SAP MDG.

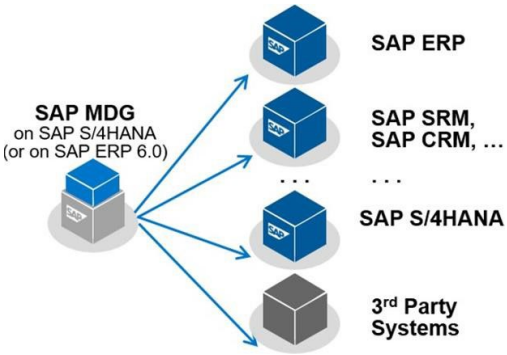


Рис. 1. Структура SAP MDG

Модуль помогает поддерживать данные в актуальном состоянии посредством синхронизации между различными системами, с которыми работают бизнес-пользователи. Это отдельный модуль, который обеспечивает высокое качество данных, что, в свою очередь, способствует увеличению выручки, повышению производительности компании и снижению рисков и затрат.

Модуль SAP MDG обеспечивает обработку данных отдельно от системы, с которой работают бизнес – пользователи.

Основные объекты, управляемые системой SAP MDG, включают:

– справочник деловых партнеров, охватывающий дебиторов и кредиторов;
– справочник материалов, включая товары, работы и услуги;
– финансовые справочники.

Процесс добавления новых записей или изменения существующих записей в справочниках осуществляется через запросы на создание или изменение данных.

Для того, чтобы запись появилась в системе, пользователь сначала создаёт запрос, который затем утверждается экспертами НСИ и, при необходимости, другими специалистами. В процессе создания и утверждения запроса выполняется множество проверок, и при обнаружении неточностей система выдаёт предупреждения или сообщения об ошибках. Данный процесс необходим, чтобы в системе не было записей с ошибками и записей – дубликатов. Основная цель проверок – это поддержание качества данных на достаточно высоком уровне.

В системе выделяют две модели данных:

– деловой партнёр (BP)
– материал (MM)

Модель данных представляет собой совокупность сущностей и атрибутов, отношений между ними. Имеют место случаи параллельного согласования запроса. Каждый технический эксперт может изменять определённую сущность и набор атрибутов. Необходимо сделать так, чтобы каждый технический эксперт мог изменять значения только необходимых ему атрибутов. Этого можно добиться лишь благодаря правильной настройке и отношению атрибутов к требуемой сущности.

Система SAP Hybris

SAP Hybris, дебютировавший в 1997 году под эгидой немецкой компании Hybris, представляет собой набор продуктов для электронной коммерции, маркетинга, продаж, обслуживания и управления контентом. В 2013 году SAP приобрела Hybris, после чего решения стали известны как SAP Commerce Cloud. Эти продукты предназначены для помощи крупным организациям в сокращении расходов, экономии времени и упрощении сложных процессов, что способствует улучшению качества обслуживания клиентов.

SAP Hybris – это корпоративная платформа электронной коммерции, которая позволяет своим потребителям эффективно продавать товары как на рынках B2B, так и на рынках B2C. В последние

годы SAP Hybris значительно эволюционировала с действительно глобальным присутствием, позиционируя себя как «омниканальное коммерческое решение, которое помогает в четком взаимодействии с клиентами».

Hybris разработан на архитектуре SOA, что позволяет легко расширять существующие сервисы и улучшать возможности приложения с меньшими усилиями по разработке. Установка SAP Hybris Commerce представляет собой файл размером ~ 2,0 ГБ, а типичный запуск предварительно настроенного сервера SAP Hybris Tomcat занимает менее 30 секунд.

SAP Hybris поддерживает бесшовную интеграцию с продуктами SAP и последними версиями, а также с другими сторонними системами для импорта или экспорта данных. Платформа интеграции обеспечивает поддержку легкого обмена данными между двумя системами с использованием Hybris Data Hub и веб-сервисов. Data Hub для SAP Hybris Commerce предоставляет гибкое, масштабируемое и сервис – ориентированное решение для упрощения интеграции данных (импорт и экспорт) между системой SAP Hybris и внешними решениями и системами хранения данных, такими как ERP, PLM, CRM и так далее. Данные из различных источников могут быть консолидированы и подготовлены для загрузки в SAP Hybris.

Моделирование и алгоритмизация процессов ведения данных в системе SAP MDG

Ежедневно в системе SAP MDG создаются более 150 запросов на изменение по справочнику деловых партнеров. Причины могут быть самыми разными. От необходимости в создании нового клиента или поставщика до внесения изменений в юридический адрес или добавлении контактного лица.

В рамках работы будет подробно рассмотрен процесс создания делового партнера, через процедуру регистрации в интернет-магазине с последующей проверкой заполненных данных и репликацией в смежные системы. Клиент интернет-магазина должен быть подтвержденным и действующим, только тогда он сможет заключить договор и оформить заказ.

На данный момент, все такие клиенты регистрируются посредством проверки в MDG через прямой автоматический интеграционный запрос, ранее – через систему CRM, с ручными проверками в MDG и последующим уведомлением в систему SAP SM для предоставления прав доступа в интернет магазин. Такой процесс

занимал довольно много времени, т.к. цепочка интеграции довольно большая и много ручных шагов.

Было принято решение оптимизировать и ускорить этот процесс. Были поставлены следующие цели:

- ускорение процесса создания запроса в MDG – автоматизированное создание запроса в MDG из интернет-магазина, исключая систему SAP CRM.
- реализация автоматической активации запроса после выполнения стандартных проверок на качество основных данных с подтверждением от SPARK – исключение ручной проверки экспертом НСИ.
- исключение всех ручных действий по предоставлению полномочий клиенту на доступ к интернет – магазину после подтверждения данных.



Рис. 2. Интеграционная схема передачи данных

Интеграционный процесс регистрации представляет собой связь четырёх систем. В личном кабинете пользователь вводит свои данные для подтверждения личности (ФИО, e-mail и номер телефона), затем заполняет данные организации, где реализован функционал обращения к сервису SPARK Interfax. Пользователь вводит ИНН организации и все данные заполняются автоматически, остается только проверить. По завершении регистрации, ИНН компании в XML-формате отправляется в MDG посредством синхронного сервиса передачи через интеграционную шину SAP PI для проверки на дубликат. Если проверка

пройдена, то данные контактного лица, организации и отношения между ними отправляются в SAP MDG для записи.

Автоматически создается запрос на изменение, обеспечивается обогащение и преобразование данных, затем вся информация передается в смежные системы, в том числе и обратно в Hybris, обогащая запись клиента, что означает подтверждение регистрации. Схема интеграции представлена на рис. 2.

Схема интеграции SAP MDG

Система SAP MDG является мастер-системой справочника контрагентов, при этом в исходной интеграционной схеме присутствуют сценарии «транзитной» передачи данных справочника контрагентов через ERP систему.

До внесения изменений в интеграционный процесс регистрации клиента через интернет – магазин, схема интеграции была перегружена и выглядела так, как проиллюстрировано на рис. 6.

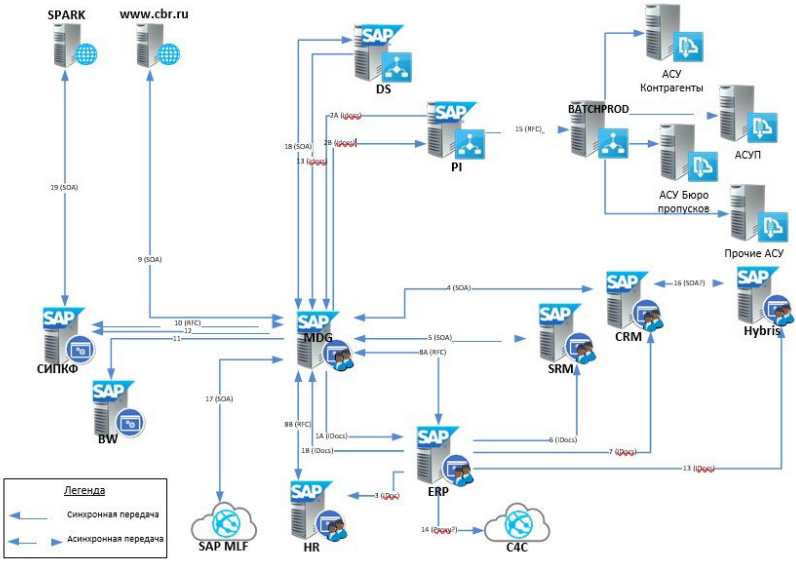


Рис. 3. Схема интеграции «AS IS»

Система SAP ERP была под излишней нагрузкой за счет отправки данных ДП в смежные системы SRM, CRM, HR, C4C и Hybris. На рисунке представлена исходная схема интеграции SAP MDG с системами потребителями.

Впоследствии, при реализации прямой интеграции с Hybris для быстрой регистрации пользователя, было принято так же оптимизировать прямую связь MDG с системами SRM, CRM, HR и C4C, чтобы окончательно разгрузить SAP ERP.

На рис. 7 представлена целевая схема интеграции SAP MDG с системами – потребителями.

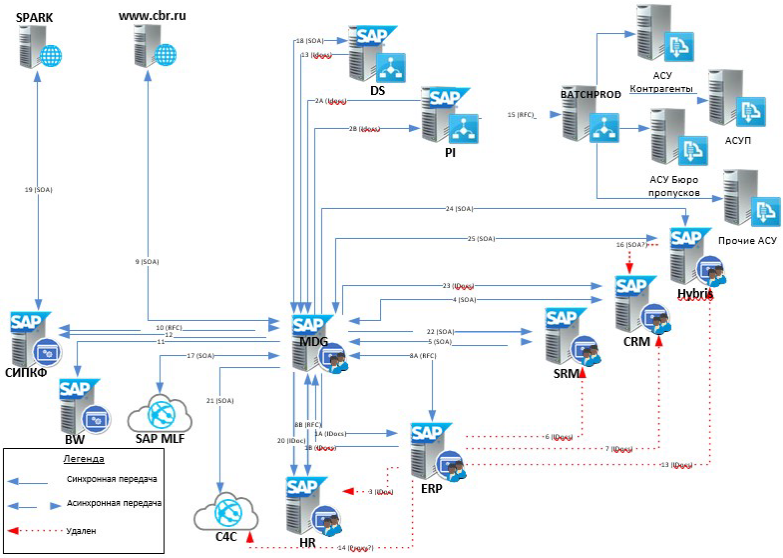


Рис. 4. Схема интеграции «ТО ВЕ»

Отдел управления нормативно-справочной информацией (НСИ) или Master Data Management (MDM) занимается приведением записей основных данных корпоративных справочников к нормализованному виду, обеспечивая качество данных. Это подразумевает отсутствие записей-дубликатов, неполных и противоречивых данных в справочниках основных данных.

Репликация записей справочника материалов заключается в передаче созданных, измененных активированных записей материалов в целевые системы. Запись материала может быть реплицирована автоматически после активации запроса на изменение в MDG или может быть настроен автоматический запуск в определённый момент времени (либо с учётом периода времени). Также активация может быть запущена вручную.

Активированные записи напрямую реплицируются в ERP-систему, т.е. систему первого уровня. В системы второго уровня, например – АСУ (автоматизированная система управления), записи передаются через PI систему.

Определяющим фактором интеграции SAP MDG и SAP ERP напрямую, в рамках передачи данных из активированных запросов на изменение, является то, что в обеих системах используется одна модель данных. Данные передаются посредством документов IDoc разных типов сообщений, которые обрабатываются в целевой системе в определенном порядке, который задается группой сериализации.

После активации запроса на изменение в системе SAP MDG каждые 5 минут отрабатывает фоновое задание, запускающее программу, которая по номеру материала или номеру ДП (зависит от варианта выполнения) выбирает все последние соответствующие документы изменений, из которых формируются типы сообщений и отправляются в целевую систему. Затем отрабатывает второе фоновое задание, запускающее программу, которая отправляет в целевую систему тип сообщения SERDAT, в котором содержится группа сериализации – порядок обработки IDoc.

В целевой системе все типы сообщений IDoc находятся в очереди и ждут обработки. Когда тип сообщения SERDAT приходит в целевую систему, он обрабатывается моментально, что приводит к отработке фонового задания, запускающего программу обработки IDoc в том порядке, который содержится в обработанном типе сообщения SERDAT. В целевой системе, в результате обработки каждого входящего IDoc, формируются исходящие IDoc ALEAUD с ответом о результате обработки IDoc.

В случае, если требуется репликация в систему второго уровня, то данные проходят обработку через систему SAP PI.

SAP NetWeaver Process Integration (SAP NetWeaver PI) – это интеграционный компонент платформы SAP NetWeaver. Он работает на основе сервера веб-приложений SAP NetWeaver Application Server, который является фундаментом всей платформы SAP NetWeaver. Центральным элементом SAP NetWeaver PI является интеграционный сервер Integration Engine. Этот сервер выполняет роль брокера сообщений и обладает множеством функций, таких как преобразование сообщений, маршрутизация, а также механизмы публикации и подписки.

В качестве входного формата данных используется XML. Одним из элементов Integration Engine является механизм дирижирования бизнес-процессами. Под управлением сервера приложений функционируют

адаптеры, позволяющие транслировать обращения к фирменным интерфейсам приложений в обмен XML – сообщениями. Одним из основных является адаптер web-сервисного протокола SOAP.

Прежде чем приступить к выполнению задания, для интеграции данных необходимо создать соединение промежуточного программного продукта с системой-источником и целевой системой. Соединение MDG-ERP напрямую уже существует, для передачи IDOC.

Так как данные в рамках интеграции будут передаваться из ERP в MDG через систему PI, нужно настроить RFC между MDG и PI. Для этого в системе MDG в транзакции SM59, предназначенной для соединения систем с вызовом RFC.

Параметрами подключения на обоих сторонах указываем название соединения, тип RFC-соединения в нашем случае выбирается транзакционный. После чего сохраняем и проверяем связь между системами для этого проводим тестирование подключения. В случае если допущена хотя бы одна ошибка, система оповестит об этом.

После успешной настройки соединения систем MDG и PI, необходимо настроить сервис для получения и обработки данных в XML формате. При приеме данного сообщения необходимо создавать запрос на изменение с типом ZBPCR_1H для создания нового делового партнера. Во время обработки на стороне SAP MDG необходимо фиксировать данные потенциального клиента.

Необходимо реализовать передачу данных посредством SOA сообщения из системы Hybris данные в систему MDG. Сделать возможность передачи данных в структуру MDG_BP_BPSUITEBULK_RPLCT_REQ_M.

Если изначально обработка XML-завершилась успехом и запрос создан, после выполнения правил и проверок запускается процесс принудительной активации, пропуская шаг НСИ.

Перед запуском активации происходит проверка на наличие ID и UUID делового партнера, затем добавляются условия по типу запроса и запускается модуль активации, на вход которого подается номер ДП, тип запроса на изменение, UUID и значение задержки в секундах. В примере– 180 секунд, то есть запрос будет активирован спустя 3 минуты после создания. Это сделано для того, чтобы избежать блокировки системного пользователя в периоды загруженности системы.

Заключение

Вопрос интеграции информационных систем возникает в любой организации, деятельность которой связана с работой с большими объемами информации. В связи с этим, актуальным было создание

функционала интеграционного взаимодействия систем различного назначения.

В ходе изучения предметной области технических и организационных особенностей информационных систем были проанализированы существующие алгоритмы автоматизированной системы. Проведён анализ систем SAP MDG, SAP Hybris и SAP PI в ходе которого были выявлены и обозначены преимущества, недостатки и функциональные особенности.

Также, в ходе функционального моделирования были разработаны контекстная диаграмма IDEF0, её декомпозиции.

Проведя анализ и замеры, можно сделать вывод, что основная цель разработки – сокращение времени регистрации клиента – выполнена. До внедрения автоматизированного процесса время регистрации клиента занимало 45 мин. После внедрения – ориентировочно 8 минут, так как удалось исключить несколько ручных шагов, что позволило сократить общее затраченное время. В перспективе, при дальнейших усовершенствованиях, затраченное время можно будет сократить до 5 минут.

Список литературы

1. Балахонова, И.В. Интеграция процессов с помощью ERP-системы / С.А. Волчков, В.А. Капитуров. – Киров: Приоритет, 2010. – 464 с.

2. Бранд, Х. SAP R/3 и SAP S/4HANA. Управление бизнесом от процессов до систем / Х. Бранд, Л. Моних, Р. Хинкельманн. – 1-е.— Вальдорф: SAP Press, 2016 – 250 с.

3. Кале, В. Внедрение SAP MDG. Руководство для менеджеров и инженеров / В. Кале, перевод с англ. П.А. Панов – Москва: Компания АйТи, 2009. – 293 с.

4. Кале, В. SAP ERP. Построение эффективной системы управления / В. Кале, перевод с англ. П.А. Панов – Москва: Компания АйТи, 2010. – 356 с.

5. Крылова, Г. Программирование на ABAP для SAP S/4HANA. / Г. Крылова, А. Чекалюк – 1-е – М.: SAP PRESS, 2020 420 с.

6. Питеркин, С.В. Практика применения ERP-систем / С.В. Питеркин, Н.А. Оладов, Д.В. Исаев – Москва: Альпина Паблишерз, 2010. – 368 с.

Обеспечение ссылочной целостности в SAP S/4 HANA

И. В. Илларионов, email: igor.illarionov@gmail.com
А. П. Пирагов, email: alexandr.piragov@yandex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе разработан механизм массовой привязки ссылок к объектам SAP S/4 HANA, позволяющий массово загружать соответствующие ссылки на объекты и целевые процессы 2-го уровня на центральном уровне данных системы. Спроектирован и реализован механизм массовой привязки ссылок, который автоматизирует процесс загрузки ссылок и привязки их к объектам системы. Практическое применение механизма в реальной рабочей среде показало его эффективность в повышении производительности и точности управления данными.*

Ключевые слова: *информационная система, информационные технологии, ERP-системы, автоматические контрольные процедуры, SAP S/4 HANA, SAP GRC PC.*

Введение

В современном информационном обществе и бизнес-мире корпоративные информационные системы становятся неотъемлемой частью повседневной деятельности компаний. Эти системы, такие как SAP S/4 HANA, предоставляют комплексные решения для автоматизации бизнес-процессов, управления ресурсами предприятия и анализа данных. Однако, с увеличением объема данных и сложности бизнес-процессов, вопрос обеспечения ссылочной целостности данных становится критически важным.

Ссылочная целостность данных в SAP S/4 HANA обеспечивает согласованность информации между различными объектами данных и транзакциями. Нарушение ссылочной целостности может привести к серьезным ошибкам в управлении бизнесом, таким как некорректные финансовые отчеты, несоответствующий учет запасов, неполные данные о клиентах и многое другое. Это может нанести значительный ущерб репутации компании, финансовым показателям и качеству обслуживания клиентов.

Цель работы заключается в разработке и реализации механизма массовой привязки ссылок в SAP S/4 HANA для обеспечения эффективного контроля и управления ссылочной целостностью данных.

© Илларионов И. В., Пирагов А. П., 2025

Этот механизм будет способствовать автоматизации процессов обновления и поддержания целостности данных в масштабах всей системы, а также упростит задачи администрирования и обеспечения качества данных.

Обзор существующих решений и проблематики

В настоящий момент существует несколько типов решений по обеспечению ссылочной целостности в SAP S/4 HANA:

- каскадное удаление —механизм, при котором удаление родительской записи автоматически приводит к удалению связанных дочерних записей. Это происходит в соответствии с установленными связями между таблицами в базе данных.
- ограничения внешних ключей – внешние ключи устанавливают связи между таблицами данных, гарантируя, что дочерняя запись всегда указывает на существующую родительскую запись. Это обеспечивает целостность данных на уровне базы данных.
- ручное управление данными – подразумевает, что администраторы системы или специалисты по управлению данными вручную проверяют и корректируют несогласованности в данных, обнаруженные в системе.
- использование интеграционных инструментов – инструменты включают в себя программное обеспечение, которое помогает автоматизировать задачи обеспечения ссылочной целостности. Такие инструменты могут предлагать гибкие решения для управления данными и поддержания целостности в различных условиях.

Каждый из подходов имеет свои достоинства и недостатки, и их выбор будет зависеть от конкретных потребностей компании, объема данных и бизнес-процессов, которые необходимо поддерживать в системе SAP S/4 HANA.

Понятие ссылочной целостности в SAP S/4 HANA

Ссылочная целостность является важным аспектом работы любой системы управления данными, включая корпоративные информационные системы, такие как SAP S/4 HANA. Это понятие относится к поддержанию согласованности и точности данных между связанными таблицами или объектами в базе данных. В контексте SAP S/4 HANA, ссылочная целостность играет критическую роль в обеспечении правильности и надежности данных, используемых в бизнес-процессах. Это включает в себя гарантии того, что:

– связи между таблицами и объектами данных сохраняются: система SAP S/4 HANA часто содержит множество связанных таблиц и объектов, таких как записи клиентов, товаров, заказов и транзакций. Ссылочная целостность обеспечивает поддержание связей между этими таблицами, предотвращая создание несогласованных или противоречивых данных.
– правильные ссылки на данные: внешние ключи и другие ссылки между таблицами должны быть корректными и указывать на существующие записи. Например, заказ должен содержать ссылку на существующего клиента, а товарный код в заказе должен быть связан с существующим товаром в базе данных.
– предотвращение «висячих» ссылок: висячие ссылки возникают, когда ссылка указывает на несуществующую запись или объект. Системы SAP S/4 HANA должны предотвращать создание таких ссылок, чтобы избежать проблем с обработкой данных и обеспечением точности отчетов.
– целостность в транзакциях: системы SAP S/4 HANA работают в условиях многопользовательской среды, где множество транзакций обрабатываются одновременно. Ссылочная целостность должна поддерживаться в контексте транзакций, чтобы избежать конфликтов и несогласованностей при одновременном доступе к данным.
– обеспечение согласованности данных: согласованность данных означает, что связанные записи и объекты данных должны содержать согласованные значения. Например, удаление родительской записи должно сопровождаться соответствующими действиями с дочерними записями.

В целом, поддержание ссылочной целостности в SAP S/4 HANA является ключевым фактором успешного управления данными и функционирования бизнес-процессов в системе. Это требует использования эффективных методов и инструментов для обеспечения корректности и согласованности данных в сложной и динамичной среде SAP S/4 HANA.

Анализ проблем и требований

Для эффективного обеспечения ссылочной целостности в SAP S/4 HANA необходимо разработать механизм массовой привязки ссылок, который бы отвечал потребностям современных организаций. При формулировании требований к такому механизму важно учитывать следующие аспекты:

Поддержка сложной иерархии данных. Механизм должен эффективно работать с сложной структурой данных в SAP S/4 HANA,

включая множество взаимосвязанных таблиц и объектов данных. Это включает поддержку операций с родительскими и дочерними таблицами, а также связь между различными уровнями иерархии.

Производительность и эффективность. Механизм должен обеспечивать высокую производительность при массовой привязке ссылок. Это включает оптимизированное выполнение операций, минимизацию времени выполнения и уменьшение нагрузки на систему.

Автоматизация и масштабируемость. Механизм должен поддерживать автоматизацию массовых операций и обеспечивать масштабируемость в соответствии с увеличением объема данных и количества операций в системе. Это позволит снизить затраты времени и ресурсов на обработку данных.

Удобство использования. Механизм должен предлагать интуитивно понятный интерфейс для пользователей и администраторов системы. Это облегчит выполнение массовых операций и снизит вероятность ошибок при привязке ссылок.

Надежность и безопасность. Механизм должен быть надежным и обеспечивать безопасность данных при массовой привязке ссылок. Это включает контроль целостности данных и предотвращение ошибок при выполнении операций.

Гибкость и настраиваемость. Механизм должен быть гибким и настраиваемым в соответствии с потребностями конкретной организации. Это включает возможность выбора различных параметров и опций для выполнения операций в зависимости от специфики бизнеса.

Поддержка транзакций. Механизм должен поддерживать транзакционную целостность, обеспечивая атомарность, согласованность, изолированность и устойчивость (ACID) при выполнении массовых операций.

Совместимость с другими системами. Механизм должен обеспечивать совместимость и интеграцию с другими системами и источниками данных, с которыми работает SAP S/4 HANA. Это включает поддержку различных форматов данных и протоколов обмена.

Логирование и мониторинг. Механизм должен предоставлять возможности для логирования и мониторинга операций массовой привязки ссылок. Это поможет отслеживать выполнение операций, выявлять ошибки и анализировать производительность. Тестирование и валидация. Механизм должен поддерживать процедуры тестирования и валидации, позволяющие проверять корректность и эффективность операций перед их применением в рабочей среде.

С учетом этих требований механизм массовой привязки ссылок в SAP S/4 HANA сможет повысить эффективность и надежность

процессов управления данными, поддерживая высокие стандарты качества и согласованности данных в системе.

Реализация программы массовой привязки ссылок

Требуется реализовать программу «Генератор привязки ссылок к объектам SAP S/4 HANA», позволяющую массово загрузить соответствующие ссылки на документы к объектам SAP S/4 HANA, обеспечив согласно рекомендация по использованию решения SAP GRC Process Control возможность привязки ссылок к целевым процессам (или подпроцессам) 2-го уровня на основе данных центрального уровня данных системы. Реализация программы должна быть выполнена в рамках системы SAP S/4 HANA версии 20.2 с использования языка программирования ABAP и функционального решения по интеграции – SAP Query.

На рис. 1 показана генерация шаблона для заполнения привязки. Данные функциональные возможности необходимы, когда у организации нет готового шаблона и требуется самостоятельно сгенерировать его средствами SAP S/4 HANA

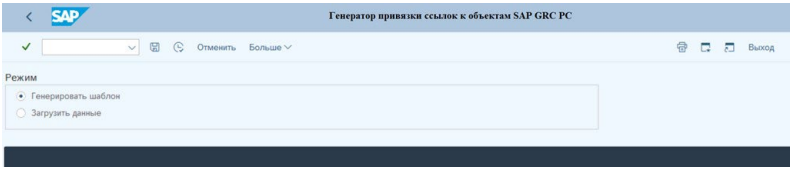


Рис. 1. Интерфейс разработки

Загрузка заполненного шаблона в систему с локального компьютера показана на рис. 2.

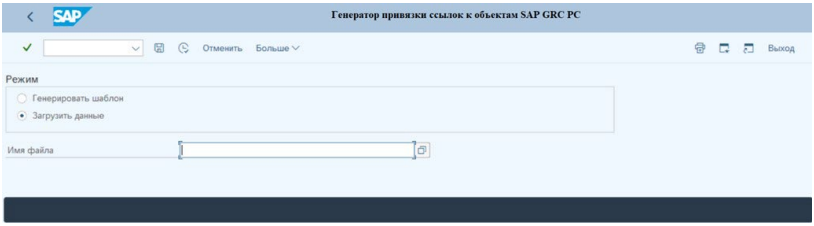


Рис. 2. Интерфейс загрузки

Практическое применение и перспективы развития

Разработанный механизм массовой привязки ссылок к объектам в SAP S/4 HANA был успешно внедрен в реальной рабочей среде.

Практический опыт показал, что механизм имеет несколько ключевых преимуществ:

Повышенная эффективность. Автоматизация процесса массовой привязки ссылок сократила время, необходимое для выполнения операций, и улучшила производительность.

Удобство использования. Интуитивно понятный интерфейс программы позволил пользователям быстро освоить инструмент и эффективно его использовать.

Сокращение ошибок. Автоматизация и логика проверки данных снизили количество ошибок при привязке ссылок, улучшив качество данных и их целостность.

Гибкость и масштабируемость. Механизм адаптировался под различные типы объектов и объемы данных, обеспечивая возможность работы с широким спектром задач.

Логирование и мониторинг. Возможность отслеживать выполнение операций и анализировать логи помогла выявлять проблемы и оперативно их решать.

Однако при внедрении механизма также были выявлены области для улучшения:

Дополнительное обучение пользователей: Пользователи потребовали дополнительного обучения для полного использования функциональности механизма.

Требование к качеству данных: для достижения максимальной эффективности механизма требуется поддержание высокого качества входных данных.

Исходя из практического опыта внедрения механизма, определены следующие направления для его дальнейшего развития и улучшения:

Повышение производительности. Разработка методов и алгоритмов для оптимизации производительности механизма, особенно при работе с большими объемами данных.

Улучшение пользовательского интерфейса. Разработка новых функций и возможностей для улучшения удобства использования программы и повышения ее эффективности.

Автоматизация проверки данных. Внедрение дополнительных механизмов автоматической проверки входных данных на корректность и соответствие требованиям системы.

Интеграция с другими системами: Расширение возможностей интеграции механизма с другими системами и платформами, используемыми организацией.

Механизмы валидации и контроля: Разработка дополнительных инструментов валидации данных и контроля выполнения операций для обеспечения целостности и надежности данных.

Исследование новых подходов: Изучение новых методов и технологий в области управления данными для возможного внедрения в механизм и улучшения его эффективности.

Обратная связь и поддержка: Получение обратной связи от пользователей программы и оказание постоянной поддержки для улучшения функциональности механизма.

В целом, разработанный механизм массовой привязки ссылок в SAP S/4 HANA продемонстрировал свою эффективность в реальных условиях. Его дальнейшее развитие и совершенствование могут повысить его производительность и надежность, а также увеличить его значение для бизнеса.

Заключение

В ходе выполнения данной работы был разработан механизм массовой привязки ссылок к объектам SAP S/4 HANA, который позволяет массово загружать соответствующие ссылки на объекты и целевые процессы 2-го уровня на центральном уровне данных системы.

Исследование включало в себя анализ существующих подходов к обеспечению ссылочной целостности и выявление их достоинств и недостатков. На основе требований бизнеса и потребностей пользователей был спроектирован и реализован механизм массовой привязки ссылок, который автоматизирует процесс загрузки ссылок и привязки их к объектам системы.

Практическое применение механизма в реальной рабочей среде показало его эффективность в повышении производительности и точности управления данными. Автоматизация и удобный интерфейс сделали процесс привязки ссылок более быстрым и надежным, сократив вероятность ошибок и повысив качество данных.

Опыт внедрения механизма также выявил некоторые области для его улучшения и развития, включая повышение производительности, улучшение пользовательского интерфейса и автоматизацию проверки данных. Дальнейшее совершенствование механизма будет способствовать его более широкому применению и повышению его ценности для бизнеса.

В целом, разработанный механизм продемонстрировал свою эффективность в обеспечении ссылочной целостности в SAP S/4 HANA. Он соответствует современным требованиям к управлению данными и бизнес-процессами, а также способствует оптимизации работы системы

и повышению конкурентоспособности организаций, использующих SAP S/4 HANA.

Этот проект не только представляет значимый вклад в развитие методик управления данными в SAP S/4 HANA, но и открывает новые возможности для дальнейших исследований и разработок в данной области.

Список литературы

1. Бахвалов, Н. С. Численные методы: учебник / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – 9-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2020. – 636 с. – ISBN 978-5-00101-836-0.

2. Бранд, Х. SAP R/3 и SAP S/4HANA. Управление бизнесом от процессов до систем / Х. Бранд, Л. Моних, Р. Хинкельманн. – 1-е.— Вальдорф: SAP Press, 2016 – 250 с.

3. Фролов, А. SAP S/4HANA: функциональные возможности и управление проектами / А. Фролов, А. Буянов – 1-е. – М.: SAP Press, 2018 – 248 с.

4. Хоппер, Р. SAP S/4HANA. Управление компанией. Настройка и использование / Р. Хоппер – 1-е. – Вальдорф: SAP Press, 2020 – 185 с.

Реализация статистического решения СЛАУ

В. А. Каладзе, email: wakaladze@yandex.ru
Н. А. Шаповалов

Международный институт компьютерных технологий

Аннотация. *Разработан алгоритм решения линейных алгебраических уравнений методом Монте-Карло, с использованием функции случайных чисел.*

Ключевые слова: *СЛАУ, численные методы, метод Монте-Карло.*

Введение

Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) является одной из ключевых задач во многих областях науки и техники, включая физику, инженерное дело, экономику и компьютерное моделирование. Однако традиционный детерминированный подход не всегда приемлем по различным причинам, в частности, для систем с высоким порядком или из-за отсутствия требования к высокой точности вычисления.

Метод Монте-Карло наиболее приемлем при решении таких задач. Он является альтернативным подходом, основанном на генерации значений случайных величин. В настоящее время с этой целью используются алгоритмические способы реализации псевдослучайных чисел, представляющие собой в основном модулярные процедуры.

1. Приведение исходной системы к виду, удобному для применения метода итераций

Рассмотрим систему линейных алгебраических уравнений, представленную в традиционном виде:

$$\begin{aligned} &a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_j = b_1 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \ldots + a_{in}x_j = b_i \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{nn}x_j = b_n \end{aligned} \qquad (1)$$

где i – номер уравнения в системе $i = \overline{1,n}$; j - номер коэффициента.

© Каладзе В. А., Шаповалов Н. А., 2025

В начале, перед применением статистического алгоритма необходимо преобразовать систему (1) к итеративной форме, удобной для реализации статистического метода Монте-Карло, вида:

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1j}x_j + a_{1,n+1} \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ x_i &= a_{i1}x_2 + a_{i2}x_2 + \ldots + a_{ij}x_j + a_{i,n+1} \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ x_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{nj}x_j + a_{i,n+1} \end{aligned} \qquad (2)$$

где x_i – искомый корень i-го уравнения; a_{ij} - j-ый коэффициент i-го уравнения, $a_{i,n+1}$ – переобозначенный свободный член.

При этом должно выполняться следующие неравенство (условие)

$$\sum_{j=1}^{n} \left| a_{nj} \right| < 1 \qquad (3)$$

2. Разбиение статистического интервала уравнения системы

Далее ставится в соответствие каждому уравнению системы разбиение статистического интервала [0,1] на $n+1$ отрезков. При этом значение каждого коэффициента уравнения связано с конкретным отрезком разбиения, определяя границы разбиения по правилу

$$S_{ij} = \sum_{j=1}^{i} \left| a_{ij} \right| \qquad (4)$$

где S_{ij} - правая граница интервала соседнего разбиения для соответствующего коэффициента a_{ij}. Здесь каждая последующая граница имеет значение, получаемое в результате суммы модулей коэффициентов предыдущих значений. Причём $S_{i,j+1} = 1$.

3. Оценка результатов блуждания случайных частиц

На третьем этапе рассматривается процесс блуждания некоторой частицы. Блуждание начинается в разбиении того уравнения, корень которого вычисляется (это рассмотрено в примере). Переход из одного состояния в другое определяется на основе генерации случайного числа от 0 до 1. То есть, происходит переход в состояние, определяемое отрезком, в который попала частица. Причём последняя точка отрезка «выколота» – она принадлежит началу следующего. Если частица попала в последний отрезок $S_{i,j+1}$ (он называется поглощающим экраном), то блуждание прекращается, в противном случае частица

продолжает блуждание, переходя в j-ое состояние, соответствующее номеру отрезка j, в который попала эта частица.

Таким образом, каждому корню уравнения i-ой системы (2) устанавливается своё разбиение I_i отрезка [0,1].

Блуждание случайной частицы вдоль I_i можно представить в виде её траектории [1]

$$T_i = \{S_{ij1}, S_{ij2}, ..., S_{ijm}, S_{i,j+1,m+1}\} \quad (5)$$

где T_i – траектория блуждания частицы i-го уравнения; S_{ij} – j-ый отрезок разбиения i-го уравнения; m – номер положения частицы.

Результат такого блуждания выражается случайной величиной X_i, которая определяется в соответствии с выражением

$$X(T_i) = b_{i,1} + u_{i,j,1}u_{i,j,2}b_{i,2} + u_{i,j,1}u_{i,j,2}u_{i,j,3}b_{i,3} + ... + u_{i,j,0}...u_{i,j,m}b_{i,m} \quad (6)$$

где $u_{i,j,m}$ – знак коэффициента a_{ij} на отрезке, в который попала частица, в результате m-го момента блуждания; $b_{i,m}$ – m-е значение свободного члена i-го уравнения.

Математическое ожидание этой случайной величины будет стремится (в соответствии с теоремой в [1]) к значению выбранного для вычисления корня системы. Поэтому ставится задача отыскания корня x_i, при различных значениях величины M – количества реализаций случайного процесса блуждания частицы, начинающегося в отрезке S_{i0}

$$x_i \approx Y / M \quad (7)$$

где Y – сумма всех значений случайной величины $X(T_i)$.

Отметим, что полученные значения корней в сильной степени зависят от количества реализаций случайных процессов в виде полученных траекторий. Повышение точности вычисления требует соответствующего увеличения значения M.

4. Пример использования метода

Применим описанный алгоритм к СЛАУ в форме (2)

$$x_1 = 0,1x_1 + 0,2x_2 + 0,7$$
$$x_2 = 0,2x_1 - 0,3x_2 + 1,1$$

Введём графическое разбиение $I_i (i = 1,2)$ уравнений для x_1 и x_2

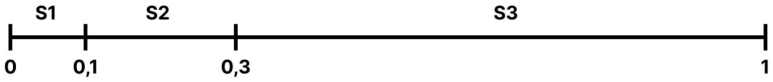


Рис. 1. Результат разбиения 1-го уравнения

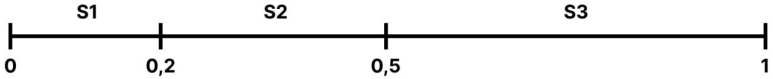


Рис. 2. Результат разбиения 2-го уравнения

Вкратце опишем процесс блуждания частицы при вычислении значения корня x_2. В этом случае блуждание происходит в разбиении второго уравнения. Первое сгенерированное случайное число в пределах [0,1] равно 0.2. Это означает, что частица попадает в отрезок S_1. Так как результат не попал в поглощающий экран, то блуждание продолжается, причём блуждание начинается в первом разбиении. Следующим случайным число оказывается равным 0.1. Попадание приходится в S_1. Блуждание снова начинается во втором разбиении. Следующие число = 0.4. Частица попадает в S_2. Так как этому отрезку отвечает отрицательный коэффициент –0.3, то это учитывается в траектории частицы и соответствующем значении случайной величины. Следующие число 0.9, следовательно, фиксируется попадание в поглощающий экран. Блуждание прекращается с общем значением $X_1(T_1) = 1.8$. После проведения множества блужданий, можно вычислить значение корня x_i по формуле (7).

Сравним значение полученного корня системы, при разных M, с аналитическим решением ($x_2 = 1$).

Далее представлена полученная точность при разных M.

Таблица 1

Точность при небольших значениях M

Число реализаций M	Полученная оценка корня x_2	Величина погрешности
30	1,142	0,142
100	1,031	0,031
1000	1,0209	0,0209

Легко заметить, что экспоненциальное увеличение количества реализаций приводит к линейному улучшению точности получаемой оценки. В самом деле

Таблица 2

Изменение точности при большом количестве реализаций

Число реализаций M	Полученная оценка корня x_2	Величина погрешности
5000	1,018	0,018
10000	1,01	0,01

5. Реализация метода на языке программирования C#

Метод поиска каждого корня системы, в программной среде, включает несколько основных алгоритмов, к которым можно отнести алгоритм проверки условия (3), для вводимых пользователем значений; алгоритм заполнения массивов, предназначенных для хранения разбиений уравнений; алгоритм реализации блуждания случайной частицы.

Проверка условия (3) реализуется путём специального цикла, в котором происходит суммирование коэффициентов уравнений, и последующие сравнение с 1.

Листинг 1

Проверка соблюдения условия (3)

```
double check = 0;
for (int i = 0; i < dt_A.RowCount; i++)
{
    check=0;
    for (int j = 0; j< dt_A.ColumnCount; j++)
    {
        check+=
Math.Abs(Math.Round(System.Convert.ToDouble(dt_A[j, i].Value),
3));
    }
    if (check >= 1)
    {
        MessageBox.Show("Σaij должно быть < 1 !");
        return;
    }
```

Здесь переменная check хранит значение суммы коэффициентов i-го уравнения.

Алгоритм разбиения уравнений состоит в следующем: создаются специальные массивы для хранения границ интервалов и происходит заполнение их данным по формуле (4).

Листинг 2

Заполнение массивов с границами интервалов уравнений

```
for (int i = 0; i < dt_A.RowCount; i++)
{
    for (int j = 0; j< dt_A.ColumnCount; j++)
    {
        switch (i)
        {
            case 0:
                {

first_coef.Add(Math.Abs(Convert.ToDouble(dt_A[j, i].Value)));
                    if (j==1)
                    {
                        first_coef[j] = first_coef[j-1] +
first_coef[j];
                    }

first_sign.Add(Math.Sign(Convert.ToDouble(dt_A[j, i].Value)));
                    break;
                }
            ...
        }
    }
}
```

Здесь first_coef хранит данные о правых границах интервалов разбиения первого уравнения, first_sign хранит массив знаков коэффициентов 1 уравнения. Также в конце массива добавляется значение 1, соответствующие поглощаемому экрану.

Алгоритм процесса блуждания состоит из 2-х циклов – внешнего и внутреннего. Во внешнем цикле выполняются итерации реализации случайного процесса, а во внутреннем реализуется процесс блуждания конкретной частицы.

Листинг 3

Алгоритм блуждания случайных частиц

```
for (int N = 1;
N<=Convert.ToUInt32(textBoxChisloBluzhdaniy.Text); N++)
 {
     absorption = false;
     flag=1;
     curPath = Convert.ToInt32(numericUpDown2.Value);
     curVal= Convert.ToDouble(dt_B[0,
Convert.ToInt32(numericUpDown2.Value)-1].Value);
     while (!absorption)
     {
         switch (curPath)
         {
```

```
            case 1:
                {
                    double val = Math.Round((r.Next(0,
100)*0.01), 10);
                    for (int i = 0; i<first_coef.Count; i++)
                    {
                        if (val <= first_coef[i]) //ПОПАДАНИЕ
В ОТРЕЗОК
                        {
                            if (i==first_coef.Count-1)
//ПОПАДАНИЕ В ЭКРАН
                            {
                                sumEks += curVal;
                                absorption = true; break;
                            }
                            flag = flag*first_sign[i];
                            curPath = i+1;
                            curVal+=
flag*Convert.ToDouble(dt_B[0, i].Value);
                            break;
                        }
                    }
                    break;
                }
…
}
}
}
```

Когда блуждающая частица попадает в поглощающий экран, значение случайной величины curVal суммируется со значениями всех предыдущих блужданий sumEks. Когда основный цикл подойдёт к концу, то есть будут окончены все реализации блужданий, останется поделить sumEks на число реализаций M, в соответствии с (7), для нахождения приблизительного значение x_i.

Заключение

В ходе работы был сформулирован и реализован алгоритм решения СЛАУ методом Монте-Карло. Основное преимущество метода заключается в его гибкости и масштабируемости: увеличение числа случайных испытаний позволяет улучшить точность.

В выбранной, для тестирования системе, погрешность при 10000 реализаций составила около 1%. Для такой маленькой системы преимущество метода может показаться не столь значительным, но, если речь идёт о системах высокого порядка (в которых может быть не важна абсолютная точность), метод Монте-Карло является отличным выбором.

Таким образом, рассмотренный метод представляет собой мощный инструмент для решения СЛАУ. Его уникальная особенность – использование случайных величин для расчёта каждого корня уравнений системы независимо от других – делает его эффективным для некоторых задач, где применение традиционных детерминированных методов ограничено.

Список литературы

1. Демидович, Б. П. Основы вычислительной математики / Б. П. Демидович, И. А. Марон; издательство «Наука»: Москва, ленинский проспект 16. 1966. 664 с.

2. Заварыкин, В. М. Численные методы: учеб пособие для студентов физ.-мат. спец. пед. ин-тов / В. М. Заварыкин, В. Г. Житомирский, М. П. Лапчик : М. Просвещение, 1990. 176 с.

3. Михайлов, Г. А. Статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: учебное пособие для вузов / Г. А. Михайлов: Г. А. Михайлов, А. В. Войтишек: Москва, 2024 – 323 с.

4. Михайлович, С. М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике / С. М. Михайлович: О. М. Рощенко: Просвещение, 2018. – 192 с.

5. Калиткин, Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин: Е. В. Шишкин: издательство «Наука»: Москва, ленинский проспект 15, 1978. – 523 с.

Математическая модель прогнозирования преступлений в краткосрочной перспективе

А. В. Калач, email: a_kalach@mail.ru [1]
А. А. Ковальчук, email: chuk_88@bk.ru [1]
В. И. Ряжских, email: ryazhskih_vi@mail.ru [2]

[1] ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России
[2] Воронежский государственный технический университет

Аннотация. *Представлена модель краткосрочного прогноза числа преступлений, относящихся к классу моделей с сосредоточенными параметрами, которая базируется на диффузионном подходе при описании изменения количества преступлений в конкретной локализации. Математическая формализация модели представлена системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений в виде задачи Каши, которая проинтегрирована численно. Идентификация параметров модели выполнена на основе статистических данных по динамике тяжких и особо тяжких преступлений по г. Воронежу и районом области за период 2016-2022 гг. Результаты краткосрочного прогнозирования на 2023 год коррелируют со статистикой.*

Ключевые слова: *модель, преступность, краткосрочный прогноз, динамика.*

Одной из задач экспертного сообщества является формализация процессов возникновения и формирования преступности [1]. Математическое моделирование выявления закономерностей в этой области является новым, быстро развивающимся инструментарием, особенно для прогнозирования криминальных событий. Сформировались ряд направлений синтеза математических моделей: агентно-ориентированные [2]; популяционной динамики [3]; эпидемиологических [4]; игровых [5]; стохастических [6]. Считается, что наиболее успешной моделью является модель диффузионного типа, которая описывает как меняется число преступников в конкретной области [7].

В связи с этим, в рамках модели диффузионного типа, для описания эволюции преступлений введено понятие «преступник-преступление» (ПП), которое количественно характеризуется неотрицательным скаляром ρ. Пусть γ- число сгенерированных ПП

© Калач А. В., Ковальчук А. А., Ряжских В. И., 2025

к моменту времени τ. По аналогии с [6] введена дефиниция «аттрактивность», которая структурно состоит из суперпозиции объективных $a(\tau)$ и субъективных $b(\tau)$ условий, качественно характеризующих ПП. Количественная убыль «аттрактивности описывается соотношением $K\rho(\tau)[a(\tau)+b(\tau)]$, где K – кинетический коэффициент. Дифференциальное уравнение для скорости изменение количества ПП есть

$$\frac{d\rho(\tau)}{d\tau} = \gamma(\tau) - K\rho(\tau)\left[a(\tau)+b(\tau)\right]. \qquad (1)$$

Каждое совершенное преступление увеличивает $b(\tau)$, что отражает соотношение $\lambda\rho(\tau)[a(\tau)+b(\tau)]$, в котором λ – свой кинетический коэффициент, причем «идеальная» тенденция, должна констатировать факт уменьшения «аттрактивности» из-за работы правоохранительных структур, т.е.

$$\frac{db(\tau)}{d\tau} = \lambda\rho(\tau)\left[a(\tau)+b(\tau)\right] - \omega b(\tau), \qquad (2)$$

Уравнения (1) и (2) дополнят начальными условиями

$$\rho(0) = \rho_0, \quad b(0) = b_0. \qquad (3)$$

Предложен алгоритм оценки параметров модели по данным УМВД России по г. Воронежу о количестве тяжких и особо тяжких преступлений. Составлена целевая функция, в предположении, что $y(\tau) = const$, $a(\tau) = const$,

$$f(\gamma, a, K, \lambda, \omega) = \frac{1}{\tau_0}\int_0^{\tau_0} \left|1 - \rho_{эксп}(\tau)/\rho(\tau)\right| d\tau,$$

где $\rho_{эксп}(\tau)$ статистические данные о количестве преступлений с 2016 по 2022 годы: $\rho(\tau)$ – решение из системы (1) – (3), τ_0 – временной отрезок наблюдения. Метод «пассивной стратегии».

Исходные данные для определения параметров проведены в таблице 1, по которым найдены их значения (таблица 2).

Результаты вычислительного эксперимента приведены на рис. 1, рис.2, рис. 3, рис. 4, рис. 5, рис. 6, рис. 7 и рис. 8, по которым произведен краткосрочный прогноз числа преступлений на 2023 год, подтвердили корректность синтезированной математической модели.

Значения найденных параметров показывают, что генерация ежегодных «скрытых» преступлений в регионе составляет порядка 30.

Кинетический коэффициент $\omega > \lambda > K$ свидетельствует об эффективной деятельности правоохранительных органов по купированию данной совокупности преступлений.

Приведенная оценка позволяет модифицировать структуру предложенной феноменологической модели в непрерывно-стохастическую, считая параметры модели $\gamma(\tau)$ и $a(\tau)$ случайными величинами, заданными известными функциями плотности распределения.

Таблица 1

Статистические данные по количеству преступлений по г. Воронежу и некоторых районов Воронежской области

Годы / Виды	2016 (1)	2017 (2)	2018 (3)	2019 (4)	2020 (5)	2021 (6)	2022 (7)	2023 (8)
УМВД Росси по г. Воронежу								
Всего	255	252	266	256	248	294	408	341
Бюджетн.	36	42	38	60	40	65	154	69
ОМВД России по г. Борисоглебск								
Всего	14	38	9	15	11	18	9	6
Бюджетн.	9	1	1	3	1	-	1	3
ОМВД России по Лискинскому району								
Всего	15	20	13	13	23	10	14	30
Бюджетн.	2	-	-	6	-	3	3	3
ОМВД России по Острогожскому району								
Всего	7	10	7	11	10	12	10	11
Бюджетн.	1	1	1	2	2	4	3	3

Примечание: в графу «Всего» включены тяжкие и особо тяжкие преступления экономической направленности; в графу «бюджетные» включены преступления по освоению и хищению бюджетных денежных средств.

Таблица 2

Показатели, влияющие на прогнозирование совершаемых преступлений

Показат. / Вид	γ	K	λ	ω	α	ρ_0	b_0
УМВД Росси по г. Воронежу							
Всего	30	0,001	0,002	0,03	1	200	1
Бюджетн.	6	0.001	0.01	0.09	0.03	30	5

ОМВД России по г. Борисоглебск							
Всего	4	0,01	0,025	0,05	2	0	6
Бюджетн.	3	0,4	0,02	0,5	3	0,1	2
ОМВД России по Лискинскому району							
Всего	3	0,0099	0,01	10,01	5	10	100
Бюджетн.	3	0,005	0,5	1,5	4	0	10
ОМВД России по Острогожскому району							
Всего	1	0,0005	0,05	0,2	5	6	15
Бюджетн.	3	0,0001	1,0003	2,3	7	0	6

Ниже приведены графики, по которым видно, что модель работает в верном режиме и прогнозирует достаточно точно:

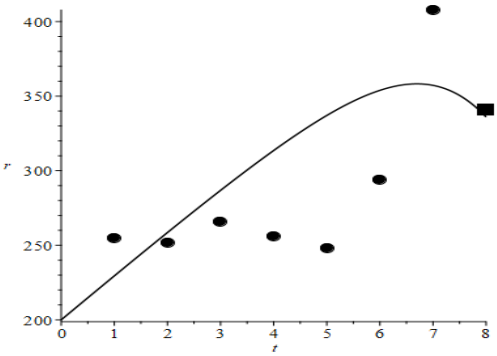


Рис.1. УМВД России по г Воронежу

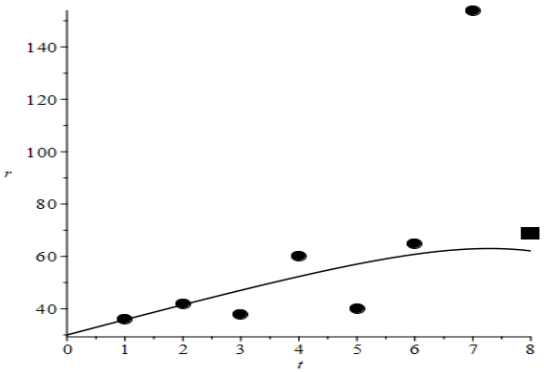


Рис.2. УМВД России по г. Воронежу (бюджет)

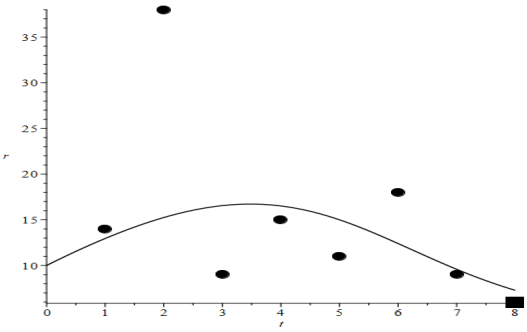


Рис.3. Борисоглебск

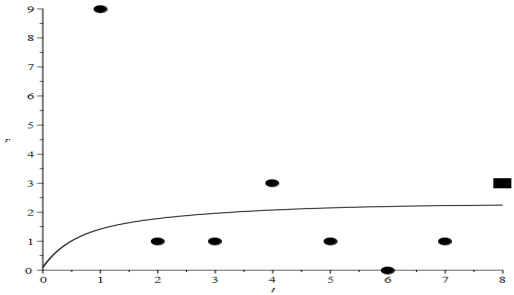


Рис. 4. Борисоглебск (бюджет)

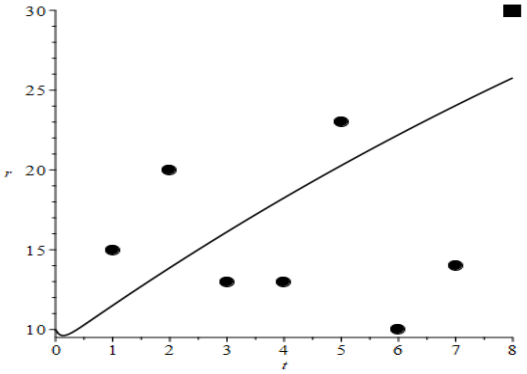


Рис. 5. Лиски

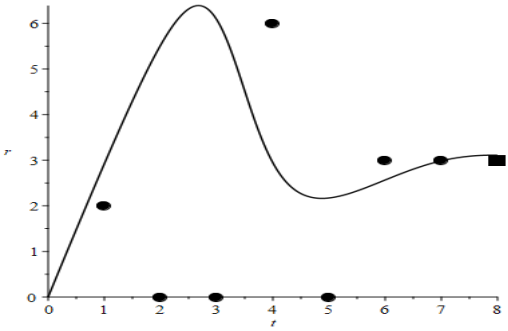


Рис. 6. Лиски (бюджет)

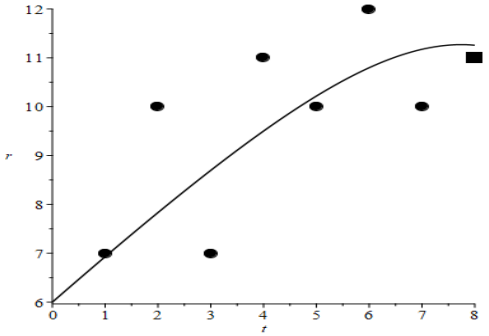


Рис. 7. Острогожск

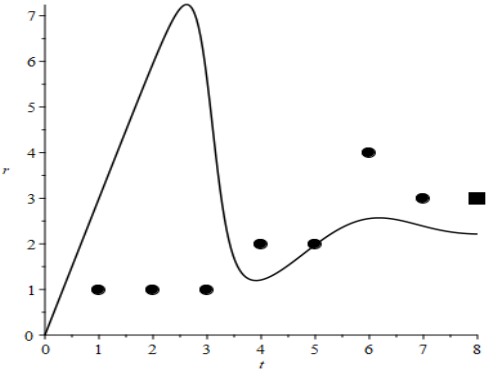


Рис. 8. Острогожск (бюджет)

Литература

1. Blumstein, A. Crime modeling / A. Blumstein // Operations Research. – 2002 – v.5a-№1 – pp.16-24.

2. Malleson, N. Based crime simulation to predid the effect of urban regeneration on individual household burglary risk / N. Malleson, A. Heppenstall, L See // Environ. Plann. B plan. – 2012. – v.40 (3). – pp. 405-426.

3. Nuno, J.C. A triangle model of criminality / J.C. Nuno, M.A. Herrero, M. Primicerio // Physica A: Stat. Mech. Appl. – 2008. – v. 387 (12). – pp. 2926-2936.

4. Sooknanan, J. Catching a gang-a mathematical model of the spread of gangs in a population treated as on infections disease / J. Sooknanan, B. Bhatt, D.M.G. Comissiong // Tut. J. Pure Applied Math. – 2013. – v.83 (1) – pp. 25-43.

5. MeCalla, S.G. The effects of sacred value networks within an evolutionary, adversarial game / S.G. MeCalla, M.B. Short, P.J. Brantingham // J.Stat. Phys. – 2012. – v.151 (3) – pp. 1-16.

6. Gang rivalry dynamics via coupled point process networks / M.B. Short M.B. [etc.] // Discrete and Continuons Dynamical System. – 2012. – v.19 (5). – pp. 1459-1477.

7. Gonzalez, Parra G. Mathematical modeling of crime as a social epidemic / Parra G. Gonzalez, B. Chen – Charpentier, H.V. Kojonharow // J. of Interdisciplinary Mathematics. – 2018. – v.21 (3). – pp. 623 – 62

Нейронный ансамбль мягких решающих деревьев

А. В. Копытин, email: alexkopytin@gmail.com
Е. А. Копытина, email: zhemkaterina@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Аннотация. *Табличные данные являются одной из наиболее часто используемых структур данных в различных практических областях, таких как финансы, здравоохранение и электронная коммерция. Однако, основываясь на недавно опубликованных исследованиях, можно утверждать, что глубокие нейронные сети все еще отстают от моделей, основанных на решающих деревьях, на табличных наборах данных. В данной статье предложена новая нейросетевая архитектура, представляющая собой ансамбль мягких решающих деревьев. Как показывает экспериментальное исследование, предложенная модель превосходит современные реализации градиентного бустинга над решающими деревьями на небольших наборах данных.*

Ключевые слова: *табличные данные, глубокое обучение, мягкое решающее дерево, градиентный бустинг над решающими деревьями.*

Введение

Табличные данные играют важную роль во многих реальных приложениях, таких как финансовые отчеты, по которым банки могут оценить надежность компании, диагностические отчеты, по которым врачи определяют этиологию пациента, и данные клиентов, используемые платформами электронной коммерции для обнаружения потенциального интереса клиентов. В целом табличные данные, состоящие из разнородных признаков, имеют множество практических применений.

С другой стороны, глубокое обучение достигло большого успеха в различных областях, включая компьютерное зрение, обработку естественного языка и робототехнику [1-4].

Помимо исключительной эффективности, существует множество преимуществ сквозной оптимизации глубокого обучения, таких как онлайн-обучение с потоковой передачей данных [5], многомодельная интеграция, которая включает различные типы входных данных, например, изображение и текст [6] и репрезентативное обучение,

© Копытин А. В., Копытина Е. А., 2025

которое реализует полуконтролируемое обучение и генеративное моделирование [7, 8].

Поэтому исследователи были нацелены на применение глубокого обучения к табличным данным как посредством трансформера [9–11], так и посредством исследования индуктивного смещения [12, 13].

Хотя во многих предыдущих публикациях утверждалось, что они достигли наилучших результатов, дальнейшие исследования показали, что предыдущие работы были апробированы на благоприятных наборах данных, а модели на основе решающих деревьев по-прежнему превосходят все остальные модели в области табличных данных [11, 14, 15].

В настоящей статье предлагается новая архитектура SDTE (аббревиатура от Soft Decision Tree Ensemble) – нейронный ансамбль мягких решающих деревьев.

1. Методы и материалы

Сначала рассмотрим мягкое бинарное решающее дерево, в котором с каждым внутренним узлом i связаны настраиваемые вектор весов $\mathbf{w}_i$, смещение b_i и параметр температуры t_i. При этом вероятность перехода в правый дочерний узел из внутреннего узла i равна:

$$p_i(\mathbf{x}) = \sigma((\mathbf{x}^T \mathbf{w}_i + b_i) / t_i),$$

где $\mathbf{x}$ – входной вектор, а σ – сигмоида.

С каждым листовым узлом l также связаны настраиваемые вектор весов $\mathbf{w}_l$ и смещение b_l, так что его выход равен:

$$o_l(\mathbf{x}) = P^l(\mathbf{x})(\mathbf{x}^T \mathbf{w}_l + b_l),$$

где $P^l(\mathbf{x})$ – вероятность того, что входной вектор $\mathbf{x}$ дойдет от корня дерева до листового узла l.

Далее следует линейный выходной слой из K узлов, на вход которого подаются выходы всех листовых узлов дерева. Для задачи регрессии $K = 1$, а для задачи классификации K – это количество предсказываемых классов.

Архитектура предлагаемого мягкого решающего дерева представлена на рис 1.

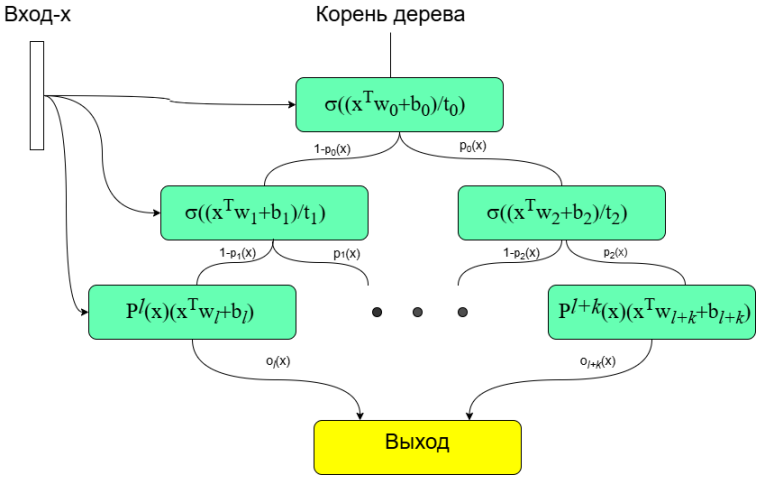


Рис. 1. Архитектура мягкого решающего дерева

В отличие от большинства решающих деревьев, предлагаемые мягкие решающие деревья решений используют границы принятия решений, которые не параллельны осям, определяемым компонентами входного вектора, и их выходы представляют собой линейные комбинации компонентов входного вектора.

Кроме того, они обучаются, сначала выбирая размер дерева, а затем используя мини-пакетный градиентный спуск для одновременного обновления всех их параметров, а не более стандартный жадный подход, который делает разбиения по одному узлу за раз [16].

Предлагается использовать нейронную сеть, представляющую собой ансамбль из N мягких решающих деревьев, т.е. количество узлов уровня k такого ансамбля равно $2^k \cdot N$, $k = 0,1,\ldots,d$, где d – глубина деревьев в ансамбле.

2. Результаты и их обсуждение

Предлагаемая нейросетевая модель была эффективно реализована на языке программирования Python с использованием библиотеки PyTorch.

Сначала модель была протестирована на известном наборе образцов рукописного написания цифр MNIST. База данных MNIST содержит 60000 образцов для обучения и тестовый набор из 10000 образцов.

На рис. 2 показаны графики зависимостей доли правильных ответов от эпохи обучения на тестовом наборе для одного дерева глубины 10 и для ансамбля из 128 деревьев глубины 3.

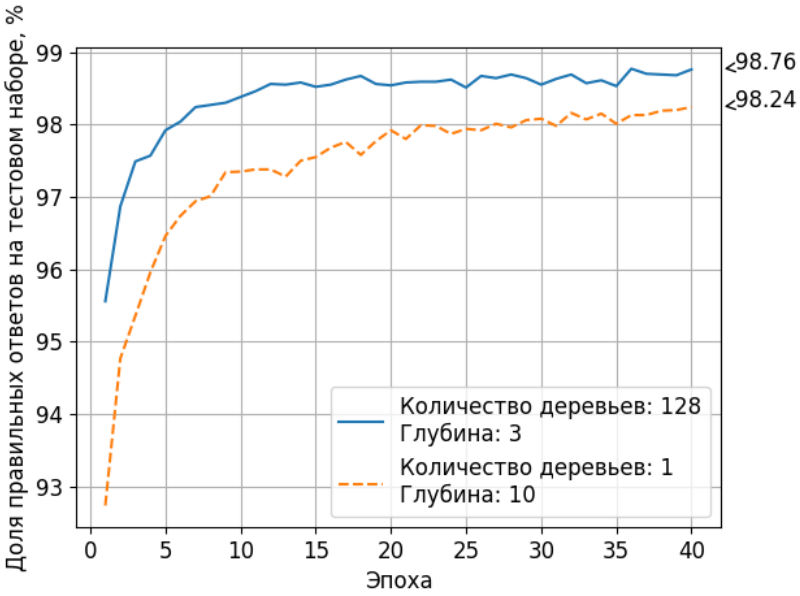


Рис. 2. Графики зависимостей доли правильных ответов от эпохи обучения на тестовом наборе

Из рис. 2 хорошо видно, что несмотря на одинаковое количество листовых узлов равное 1024 в обеих моделях, точность ансамбля более чем на 0.5% выше, чем одного дерева, и достигает значения 98.76%.

Также предлагаемая модель SDTE была протестирована на наборе PMLBmini [17] из 44 датасетов бинарной классификации с размерами выборки от 32 до 500 объектов.

Модель из 256 деревьев глубины 3 сравнивалась с тремя наиболее известными реализациями градиентного бустинга над решающими деревьями XGBoost [18], LightGBM [19] и CatBoost [20] по метрике ROC-AUC, причем оптимальные значения гиперпараметров указанных реализаций были подобраны заранее по кросс-валидации. Результаты сравнения моделей приведены в таблице. Лучшие результаты выделены полужирным шрифтом.

Таблица

Сравнение моделей по метрике ROC-AUC на наборе PMLBmini

Датасет	LightGBM	XGBoost	CatBoost	SDTE
analcatdata_aids	0.5000	0.7106	0.5903	**0.5978**
analcatdata_asbestos	0.8246	0.7622	0.8035	**0.8601**
analcatdata_bankruptcy	0.5000	0.9005	0.8449	**0.9769**
analcatdata_creditscore	**0.9411**	0.9864	0.9725	0.9377
analcatdata_cyyoung8092	0.7783	0.7017	0.6806	**0.8474**
analcatdata_cyyoung9302	0.8378	0.7027	0.7652	**0.8713**
analcatdata_fraud	0.5000	0.6750	0.5296	**0.7213**
analcatdata_japansolvent	0.5000	0.7500	0.8032	**0.8951**
labor	0.5000	0.7572	0.6865	**0.9802**
lupus	0.7335	0.7457	0.7732	**0.8504**
parity5	**0.5000**	0.2167	0.2111	0.1222
postoperative_patient_data	0.3636	0.4603	**0.5000**	0.4367
analcatdata_boxing1	0.6914	0.6914	0.6090	**0.6960**
analcatdata_boxing2	**0.7801**	0.7777	0.7625	0.7042
appendicitis	0.7752	0.7206	0.7502	**0.8328**
backache	0.6565	0.5681	0.5256	**0.6812**
corral	**1.0000**	0.9210	0.9043	**1.0000**
glass2	**0.9199**	0.7301	0.7045	0.7872
hepatitis	0.7840	0.6299	0.6246	**0.8574**
molecular_biology_promoters	**0.9234**	0.8023	0.7004	0.8904
mux6	**0.9576**	0.5628	0.6714	0.9000
prnn_crabs	**0.9726**	0.8093	0.7840	0.8705
analcatdata_lawsuit	0.9871	0.8650	0.6349	**0.9873**
biomed	**0.9454**	0.8356	0.7326	0.9398
breast_cancer	0.6614	0.5918	0.5488	**0.7024**
heart_h	0.8561	0.7848	0.7666	**0.8696**

Окончание таблицы

heart_statlog	0.8645	0.7358	0.7758	**0.9018**
hungarian	0.8390	0.7779	0.7687	**0.8683**
prnn_synth	0.9384	0.8561	0.8637	**0.9390**
sonar	0.9100	0.7197	0.7109	**0.9216**
spect	0.8011	0.6032	0.5000	**0.8375**
bupa	0.6349	0.5989	0.5896	**0.6621**
cleve	0.8599	0.7455	0.7545	**0.8860**
colic	0.8526	0.8335	0.8123	**0.8610**
haberman	**0.7045**	0.6358	0.5741	0.7027
heart_c	0.8843	0.7884	0.7563	**0.9082**
horse_colic	**0.8721**	0.8245	0.7993	0.8242
ionosphere	**0.9675**	0.8613	0.8314	0.9363
spectf	**0.9146**	0.6871	0.7341	0.8902
clean1	**1.0000**	**1.0000**	0.9957	0.9882
house_votes_84	**0.9886**	0.9619	0.9630	0.9878
irish	**1.0000**	**1.0000**	**1.0000**	0.9659
saheart	0.6963	0.6094	0.6732	**0.7698**
vote	0.9888	0.9541	0.9536	**0.9926**
Среднее	0.7979	0.7466	0.7258	**0.8332**
Медиана	0.8458	0.7478	0.7523	**0.8700**

Из таблицы видно, что медианное значение метрики ROC-AUC предложенной модели SDTE более чем на 2%, а среднее значение более чем на 3% выше, чем у реализаций градиентного бустинга.

Заключение

В данной работе представлена новая архитектура нейронной сети, имитирующая ансамбль мягких решающих деревьев. Как показывает эксперимент, результаты предложенной модели выше, чем у реализаций градиентного бустинга над решающими деревьями на наборе небольших датасетов.

Список литературы

1. Deep residual learning for image recognition / K. He [et al] // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – P. 770-778.

2. You only look once: Unified, real-time object detection / J. Redmon [et al] // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – P. 779-788.

3. Deep reinforcement learning for robotic manipulation with asynchronous off-policy updates / S. Gu [et al] // IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). – 2017. – P. 3389-3396.

4. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding / J. Delvin [et al] // arXiv preprint arXiv:1810.04805. – 2018.

5. Online deep learning: Learning deep neural networks on the fly / D. Sahoo [et al] // arXiv preprint arXiv:1711.03705. – 2017.

6. Ramachandram, D. Deep multimodal learning: A survey on recent advances and trends / D. Ramachandram, G. W. Taylor // IEEE signal processing magazine. – 2017. – Vol. 34. – № 6. – P. 96-108.

7. Van Engelen, J. E. A survey on semisupervised learning / J. E. Van Engelen, H. H. Hoos // Machine Learning. – 2020. – Vol. 109. – № 2. – P. 373-440.

8. Generative adversarial networks / I. Goodfellow [et al] // Communications of the ACM. – 2020. – Vol. 63. – № 11. – P. 139-144.

9. Tabtransformer: Tabular data modeling using contextual embeddings / X. Huang [et al] // arXiv preprint arXiv:2012.06678. – 2020.

10. Improved neural networks for tabular data via row attention and contrastive pretraining / G. Somepalli [et al] // arXiv preprint arXiv:2106.01342. – 2021.

11. Revisiting deep learning models for tabular data / Y. Gorishniy [et al] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2021. – Vol. 34. – P. 18932-18943.

12. Katzir, L. Net-dnf: Effective deep modeling of tabular data / L. Katzir, G. Elidan, R. El-Yaniv // International Conference on Learning Representations. – 2020.

13. Arik, S. O. Tabnet: Attentive interpretable tabular learning / S. O. Arik, T. Pfister // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2021. – Vol. 35. – P. 6679-6687.

14. Deep neural networks and tabular data: A survey / V. Borisov [et al] // arXiv preprint arXiv:2110.01889. – 2021.

15. Shwartz-Ziv, R. Tabular data: Deep learning is not all you need / R. Shwartz-Ziv, A. Armon // Information Fusion. – 2022. – Vol. 81. – P. 84-90.

16. Hastie, T. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction / T. Hastie, R. Tibshirani, R., J. Friedman – 2nd ed. – Stanford, CA: Stanford University, 2009. – 745 p.

17. Knauer, R. PMLBmini: A Tabular Classification Benchmark Suite for Data-Scarce Applications / R. Knauer, M. Grimm, E. Rodner // arXiv preprint arXiv:2409.01635. – 2024.

18. Chen, T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System / T. Chen, C. Guestrin // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16). – 2016. – P. 785-794.

19. Ke, G. Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree / G. Ke [et al] Advances in neural information processing systems. – 2017. – Vol. 30.

20. Catboost: unbiased boosting with categorical features / L. Prokhorenkova [et al] // Advances in neural information processing systems. – 2018. – Vol. 31.

Задача автоматического построения календарно-постановочного плана съемок

В. В. Коротков, email: chasecrunk@gmail.com
Н. А. Легостаев, email: lego.2003@list.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной работе рассматривается постановка задачи автоматического построения календарно-постановочного плана съемок, учитывающая специфику российской индустрии кино и сериалов. Предлагаются подходы к решению данной задачи на основе многокритериальных генетических алгоритмов.*

Ключевые слова: *комбинаторная оптимизация, календарно-постановочный план, планирование, генетический алгоритм, задача разбиения на несколько множеств, многокритериальная оптимизация, метаэвристические алгоритмы.*

Введение

Съемочный процесс кино и сериалов очень нетривиален и требует основательного подхода к организации. Поэтому помимо основного режиссера не менее важную роль на площадке часто играют второй режиссер по площадке и второй режиссер по планированию. Их деятельность хоть и не связана с творческим процессом, но критическим образом влияет на успешность результата. При планировании съемок приходится учитывать большое количество факторов: погодные условия, логистику, графики занятости задействованного персонала и прочее. При этом, как и в любой коммерческой деятельности, основными метриками успеха являются финансовые показатели, включая производственные издержки, но не только. Предположительно, трудности, с которым сталкивается второй режиссер по планированию, могут частично быть решены применением информационных технологий.

В некоторых зарубежных источниках среди базовых задач комбинаторной оптимизации встречается упоминание задачи Talent Scheduling, которая родилась как раз из необходимости оптимизировать затраты на актеров при планировании съемок [1]. Однако данная модель задачи не применима к российским реалиям, т.к. вдохновлена индустрией кино других стран. В частности, она предполагает съемку ровно одной сцены в день, а также оплату актера по принципу аренды

© Коротков В. В., Легостаев Н. А., 2025

на определенный промежуток времени вне зависимости от наполненности этого периода днями со съемкой сцен с его участием. В реалиях российской индустрии все устроено иначе. Именно поэтому целью данной работы являлась постановка приближенной к практике задачи составления плана съемок, а также разработка подхода к ее решению.

1. Анализ задачи

Для выяснения деталей того, как устроен съемочный процесс в российской киноиндустрии, проводились консультации с несколькими действующими режиссерами и вторыми режиссерами. По результатам были выяснены следующие детали:

- Планирование осуществляется в два уровня. Перед началом съемочного процесса составляется календарно-постановочный план, распределяющий съемки сцен кино или сериала по рабочим сменам (съемочным дням). Именно автоматизация этого уровня планирования и является целью работы. Второй уровень – составление так называемых вызывных, т.е. детальных планов съемки сцен в каждый конкретный день. Здесь присутствует гораздо больше субъективности и неопределенности, поэтому этот уровень слабо поддается автоматизации.
- Количество рабочих смен как правило фиксировано (определяется продюсерами или другим руководством).
- Актеры и некоторые другие специалисты привлекаются на съемки и оплачиваются посменно, а не арендуются на непрерывный отрезок.
- Среди критериев, учитываемых при планировании, озвучены оптимизация издержек на актеров и другие ресурсы, а также аренду локаций, минимизация числа перемещений между локациями.
- Из значимых ограничений отмечены: графики сторонней занятости актеров и других сотрудников, необходимость определенных погодных условий для съемки некоторых сцен.

Если представить, что рабочие смены – это некие контейнеры, а съемки сцен – предметы, то можно увидеть параллели с некоторыми фундаментальными задачами комбинаторной оптимизации. В случае заданной размерности контейнеров и предметов в зависимости от деталей прочих ограничений получилась бы модификация либо задачи об упаковке в контейнеры (Bin Packing Problem, BPP), либо задачи о нескольких рюкзаках (Multiple Knapsack Problem, MKP). Однако уточнение у экспертов деталей реального производственного процесса

привело к отказу от этой идеи. На практике оценки времени съемок сцен практически никогда не используются. Наоборот, это является производным от задаваемых жестких ограничений на число смен, за которые необходимо отснять проект. Исходя из этого рассчитывается ориентировочный средний суммарный хронометраж сцен, который нужно отснять за смену. При распределении сцен отталкиваются от этого ориентира, но с поправкой на трудоемкость. Если назначить в смену только простые разговорные сцены, то их суммарный хронометраж может быть существенно больше среднего. А сложных трюковых сцен – наоборот. Жесткие оценки времени выполнения не релевантны и по причине гораздо более субъективного характера творческой деятельности. Здесь нет объективного времени реализации, ведь при наличии условий можно снимать сколь угодно много дублей в попытке достичь художественной задумки и субъективного идеала.

В связи с этим более реалистична постановка, близкая к задаче разбиения на несколько множеств (multiway number partitioning). В ней необходимо разбить множество положительных чисел на фиксированное число подмножеств так, чтобы суммы чисел в подмножествах были максимально близки [2]. В этой аналогии числа – хронометраж сцен (с поправкой на трудоемкость), подмножества – планы съемок на конкретные рабочие смены. С учетом вышеизложенного сформулируем математическую модель задачи.

2. Математическая модель задачи

Пусть имеется множество смен J, множество сцен I, множество ресурсов (включая актеров и других сотрудников) K, множество локаций L. Обозначим d_i – хронометраж сцены $i \in I$, $c_i > 0$ – множитель трудоемкости сцены $i \in I$, p_k – стоимость одной смены ресурса $k \in K$.

Введем булевы переменные:

- $h_{il} = 1$, если сцена i снимается на локации l, причем гарантируется $\sum_l h_{il} = 1 \; \forall i \in I$, т.е. каждая сцена снимается ровно на одной локации;
- $r_{ik} = 1$, если ресурс k необходим для съемки сцены i;
- $b_{ij} = 1$, если сцена i не может быть снята в смену j по причине занятости одного из требуемых ресурсов (например, актера), несоответствия прогнозируемой и требуемой погоды или по какой-либо иной;

– $x_{ij} = 1$, если сцена i запланирована в смену j.

Тогда можно сформулировать задачу дискретной (комбинаторной) оптимизации, которая заключается в нахождении таких $x_{ij}\ \forall i \in I, j \in J$, что

$$\max_j \left(\sum_i x_{ij} c_i d_i \right) - \min_j \left(\sum_i x_{ij} c_i d_i \right) \to \min, \quad (1)$$

$$\sum_j \sum_k p_k \max_i \left(x_{ij} r_{ik} \right) \to \min, \quad (2)$$

$$\max_j \left(\sum_l \max_i \left(x_{ij} h_{il} \right) \right) \to \min, \quad (3)$$

при условии

$$x_{ij} b_{ij} = 0 \ \forall i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

Здесь целевая функция (1) стремится распределить сцены равномерно, (2) – минимизировать суммарные затраты на актеров и другие ресурсы, (3) – минимизировать число локаций в смену. Ограничение (4) позволяет учитывать графики занятости ресурсов, погодные ограничения и прочие условия. Согласно ограничению (5) сцена может быть размещена только в одну смену.

Стоит отметить, что использование локации также может быть сопряжено с материальными затратами. Однако это легко учитывается в данной постановке введением вспомогательного ресурса с некоторой стоимостью аренды, связанного со всеми сценами, снимаемыми на данной локации.

3. Разработка подходов к решению

Задача разбиения на несколько множеств при числе множеств больше двух является NP-трудной [2]. В нашем же случае имеются дополнительные ограничения на размещение сцен в определенные смены, а также два дополнительных критерия, что еще больше усложняет ее. В случае значительного числа входных параметров данная задача едва ли решаема точно за адекватное время. Однако допустимы приближенные эвристические и метаэвристические подходы к решению. Наиболее привлекательны последние, т.к. позволяют контролировать баланс между затрачиваемым на поиск временем и качеством получаемого решения.

Среди метаэвристических алгоритмов крайнюю эффективность во многих задачах, включая задачи планирования, показывают генетические алгоритмы [3]. Кроме того, они относительно легко модифицируются для решения многокритериальных задач, используя принцип Парето-оптимальности [4-5].

Пусть хромосома, кодирующая решение, представлена вектором длины $|I|$, в котором каждая ячейка соответствует некоторой сцене. В ячейке указывается номер смены, в которую запланирована съемка. В качестве оператора скрещивания используется обычный двухточечный оператор, позволяющий получить дочерние хромосомы путем рекомбинации частей двух родительских. Результирующие решения очевидным образом не будут нарушать ограничения (4). Мутация с некоторой вероятностью изменяет номер смены для сцены на случайную из тех, что допустимы с точки зрения ограничений. Первоначальная популяция может быть получена путем случайной генерации. Чтобы получить одну хромосому, необходимо для каждой сцены взять случайную смену из подмножества тех, размещение в которых не нарушает ограничений (4).

Основные отличия различных многокритериальных генетических алгоритмов лежат в принципах организации селекции и методах обеспечения разнообразия особей. Для решения рассматриваемой задачи может использоваться любой актуальный алгоритм: NSGA-II, NSGA-III, SPEA2 или другой [4-5].

Среди полученных генетическим алгоритмом Парето-оптимальных решений итоговый план может быть выбран человеком из его субъективных соображений. Другой подход может заключаться в применении методов многокритериального выбора: TOPSIS, VIKOR или любых других.

Заключение

Таким образом, в работе на основе информации от экспертов из российской индустрии кино была проанализирована и сформулирована многокритериальная задача автоматического построения календарно-постановочного плана, учитывающая все основные практические требования. Были также предложены и описаны подходы к решению на основе многокритериальных генетических алгоритмов.

В дальнейшем предполагается экспериментальное исследование подходов к решению и апробация на реалистичных входных данных.

Список литературы

1. Cheng, T. C. E. Optimal scheduling in film production to minimize talent hold cost / T. C. E. Cheng, J. E. Diamond, B. M. T. Lin // Journal of

Optimization Theory and Applications. – 1993. – Vol. 79. – Iss. 3. – P. 479-492.

2. Korf, R. E. Multi-way number partitioning / R. E. Korf // Proceedings of the 21st International Joint Conference on Artificial Intelligence (Pasadena, California, USA, July 11-17, 2009). – Pasadena, 2009. – P. 538–543.

3. Katoch, S. A review on genetic algorithm: past, present, and future / S. Katoch, S. S. Chauhan, V. Kumar // Multimedia Tools and Applications. – 2021. – Vol. 80. – Iss. 5. – P. 8091-8126.

4. Казаков, П. В. Генетические алгоритмы многокритериальной оптимизации. Обзор / П. В. Казаков // Информационные технологии. – 2011. – 10(182). – С. 2-8.

5. Multiobjective evolutionary algorithms: A survey of the state of the art / A. Zhou [etc.] // Swarm and Evolutionary Computation. – 2011. – Vol. 1. – Iss. 1. – P. 32-49.

Реализация двухфакторного ABC-анализа в управленческом учете интернет магазина

О. А. Крайнова, email: kraynovaoa@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»

Аннотация. *В данной статье рассматривается применение двухфакторного ABC-анализа в практике управленческого учета интернет-магазина, описываются как теоретические основы метода, так и конкретные результаты его использования. Исследование является актуальным ввиду потребности в поиске продуктивных инструментов управленческого учета и средств для автоматизации подобного анализа. В статье выделены преимущества и недостатки метода, даны рекомендации практического использования в сочетании с другими методами анализа.*

Ключевые слова: *анализ продаж, правило Парето, ABC-анализ, товарный ассортимент, управленческий учет.*

Введение

В условиях современной электронной коммерции анализ продаж превращается в жизненно важный элемент управления интернет магазином, т.к. позволяет отслеживать текущие показатели, выявлять тренды, сегментировать покупателей, оптимизировать ассортимент, управлять запасами и принимать обоснованные решения, направленные на увеличение прибыли и повышение удовлетворенности клиентов. Таким образом методы управленческого учета, в том числе методы анализа продаж интернет магазина, являются актуальной темой исследования.

Существует ряд методов, позволяющих осуществлять анализ продаж, каждый из которых предоставляет ценную информацию для управленческого учета, что ведет к оптимизации работы интернет магазина. Их разделяют на несколько категорий, в зависимости от цели анализа и типа данных. Это могут быть анализ по выручке и прибыли, анализ товарного ассортимента, анализ покупателей, анализ каналов продвижения и прочие.

Перед началом анализа продаж интернет магазина необходимо определить, что именно мы хотим увидеть в результате данного анализа и как будем использовать полученные результаты в рамках управленческого учета.

© Крайнова О. А., 2025

1. Выбор метода и описание данных

В нашем случае собственником бизнеса была предоставлена таблица продаж в Excel (рис. 1) по одной из категорий товаров за период времени равный месяцу и поставлена цель поиска «привлекательных» товаров для принятия управленческих решений, таких как актуализация закупок и поддержание актуальной маркетинговой стратегии. Под «привлекательными» товарами предполагается рассматривать товары, востребованные клиентами и прибыльные для бизнеса.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Дата	№ заказа	Менеджер	Наименование	Кол-во	Способ оплаты	Розница	Опт	Валовая прибыль	Способ отправк
2	04.01.2017	41525	A	Товар 1	20	СБ	166500	135000	31500	тк ПЭК
3	04.01.2017	41525	A	Товар 2	10	СБ	1000	500	500	тк ПЭК
4	04.01.2017	41534	C	Товар 1	10	QIWI	83250	67500	15750	почта
5	04.01.2017	41534	C	Товар 2	1	QIWI	100	50	50	почта
6	04.01.2017	41534	C	Товар 3	1	QIWI	490	250	240	почта

Рис. 1. Фрагмент предоставленных данных в Excel

В соответствии с целью анализа были рассмотрены принципы формирования товарного ассортимента [1] и выбрана достаточно широкая категория анализа товарного ассортимента. В рамках данной категории были проанализированы популярные методы: ABC-анализа [2], распределяющего товары по группам в зависимости от их вклада в выручку или прибыль; XYZ-анализа [3], классифицирующего товары по стабильности спроса; FSN-анализа [4], отражающего скорость движения товаров; матричные методы анализа товарного ассортимента [5] и прочие методы.

Наиболее простым и быстрым способом из перечисленных методов анализа продаж интернет магазина для предоставленных данных и четко выделенного периода является ABC-анализ, являющийся «аналитическим методом обоснования управленческих решений» [6].

ABC-анализ – это метод классификации, используемый для распределения объектов, в нашем случае товаров, на три группы (A, B и C) в зависимости от их вклада в общий результат. Метод достаточно универсальный, подходит для различных типов интернет магазинов и категорий объектов, предоставляет инструмент для принятия решений по управлению ассортиментом, запасами и маркетингом в условиях неопределенности спроса.

«Результатом использования ABC-анализа будет является группировка объектов по степени влияния на общий результат» [7].

В основе ABC-анализа лежит принцип Парето, который для целей анализа данных интернет магазина определяет, что примерно 20% товаров приносят 80% «выгоды». При этом, изначально было решено

сфокусировать ABC-анализ на количестве проданных единиц товара, как «привлекательных» для покупателя, учитывая вклад каждого товара в общее число продаж.

На основе принципа Парето для интернет магазина актуальным будет следующее деление товаров по трем группам: 80% от количества продаж приносят товары группы A, 15% – группы B и 5% группы C.

Алгоритм проведения ABC-анализа является общедоступным и при выявлении «привлекательных» товарных позиций с точки зрения количества продаж будет выглядеть следующим образом:

1. определяем объекты анализа: товары интернет магазина;
2. определяем критерий анализа: количество продаж каждого товара;
3. вычисляем общее количество всех проданных товаров;
4. вычисляем долю каждого товара;
5. сортируем товары по убыванию их доли в общем количестве;
6. распределяем по группам: A, B, C;
7. делаем выводы.

Используя данный алгоритм будут найдены позиции товаров, имеющие наибольшее число продаж по отношению к общему числу проданных товаров.

2. Реализация ABC-анализа в Excel

Так как данные были предоставлены в виде таблицы Excel, то было принято решение продолжить применение ABC-анализа в данной среде. Для этого таблицу продаж (рис. 1) привели к сводной таблице, содержащей поля «Наименование товаров», «Количество продаж» и «Валовая прибыль».

Определяем к каждой товарной позиции долю каждого товара в общих продажах (в %) и добавляем в таблицу колонку «Доля каждого товара в общих продажах». В новой колонке считаем вклад с нарастающим итогом, при этом значение первого товара остается неизменным. Далее, делим товары на группы A, B, C в соответствии с принципом Парето (рис. 2).

Таким образом мы получаем разбивку по категориям. И, казалось бы, раз товары группы A продаются чаще всего, то мы должны их активно продавать и всегда держать в наличии, группы B важно держать на контроле уровень управления запасами и учета информации о них, но реже проводить инвентаризацию, а товары категории C требуют тщательного разбора.

Но, мы еще не можем принять решение о наличии в магазинах товаров в данной категории, т.к. не проанализирована прибыль с каждого товара, которая может оказаться «убыточной».

	A	B	C	D	E	F
1	Названия стр	Сумма по полю Кол-во	Сумма по полю Валовая прибыль	Доля каждого товара в общих продажах	Доля товаров в общих продажах с нарастающим итогом	Группы товаров (по обороту)
2	Товар 2	252	12600	13,33%	13,33%	A
3	Товар 1	166	625950	8,78%	22,10%	A
4	Товар 11	138	54800	7,30%	29,40%	A
5	Товар 21	127	72136	6,72%	36,12%	A
6	Товар 16	104	41600	5,50%	41,62%	A
7	Товар 19	93	26040	4,92%	46,54%	A
8	Товар 12	85	51000	4,49%	51,03%	A

Рис. 2. Фрагмент результата применения ABC-анализа по количеству продаж в Excel

3. Необходимость двухфакторного ABC-анализа

Особенностями данного интернет магазина является продажа товаров стоимостью с большим разбросом (от 100 до 90 000 рублей), что лишний раз подтвердило задачу определить не только «привлекательные», но и «выгодные» для бизнеса позиции продаж, причем с точки зрения их вклада.

Идеи многокритериального ABC-анализа были высказаны неоднократно и решались с различными подходами [8]. Мы воспользуемся самым простым вариантом: используя уже готовый алгоритм ABC-анализа, но примененный к полю «Валовая прибыль», получим сводную таблицу с распределением товаров по группам (рис. 3).

	A	B	C	D	E	F
3	Названия стр	Сумма по полю Кол-во	Сумма по полю Валовая прибыль	Доля каждого товара в общей прибыли	Доля товаров в общей прибыли с нарастающим итогом	Группы товаров (по валовой прибыли)
4	Товар 1	166	625950	42,44%	42,44%	A
5	Товар 4	57	78300	5,31%	47,75%	A
6	Товар 8	72	75600	5,13%	52,88%	A
7	Товар 21	127	72136	4,89%	57,77%	A
8	Товар 11	138	54800	3,72%	61,48%	A
9	Товар 12	85	51000	3,46%	64,94%	A
10	Товар 25	39	50757	3,44%	68,38%	A

Рис. 3. Фрагмент результата применения ABC-анализа по валовой прибыли в Excel

После проведенного двухфакторного АВС-анализа, у каждого товара будут не одна, а две буквы категории, показывающие нам и оборот, и прибыль, которую товар приносит компании, а значит ту самую «привлекательность» и для клиента, и для бизнеса.

Для объединения категорий воспользуемся функцией Excel СЦЕПИТЬ, но при этом откажемся от сводной таблицы, скопировав данные на новый лист, т.к. в противном случае нет возможности после получения результатов провести сортировку по вновь образованному полю «Итоговая группа товаров» (рис. 4).

	A	B	C	D
1	Наименование товара	Сумма по полю Кол-во	Сумма по полю Валовая прибыль	**Итоговая группа товаров (количество + прибыль)**
2	Товар 1	166	625950	**AA**
3	Товар 11	138	54800	**AA**
4	Товар 12	85	51000	**AA**
5	Товар 16	104	41600	**AA**
6	Товар 20	53	37040	**AA**
7	Товар 21	127	72136	**AA**
8	Товар 4	57	78300	**AA**
9	Товар 8	72	75600	**AA**
10	Товар 13	70	24500	**AB**
11	Товар 19	93	26040	**AB**
12	Товар 5	52	18200	**AB**
13	Товар 7	61	21350	**AB**
14	Товар 14	52	10400	**AC**
15	Товар 17	63	15876	**AC**
16	Товар 2	252	12600	**AC**
17	Товар 3	64	15360	**AC**
18	Товар 25	39	50757	**BA**
19	Товар 27	31	38130	**BA**
20	Товар 15	48	19200	**BB**
21	Товар 18	40	34000	**BB**
22	Товар 22	40	23200	**BB**
23	Товар 29	33	16500	**BB**
24	Товар 23	38	1900	**BC**
25	Товар 26	26	37700	**CA**
26	Товар 28	17	22000	**CB**
27	Товар 6	1	30000	**CB**
28	Товар 10	2	4000	**CC**
29	Товар 24	27	2970	**CC**
30	Товар 30	20	3760	**CC**
31	Товар 9	20	10000	**CC**

Рис. 4. Результаты применения метода двухфакторного АВС-анализа средствами Excel

Эта итоговая таблица с категориями товаров дает нам данные для формирования ассортиментной матрицы:

– в идеале, товары АА должны быть всегда в наличии;

– для товаров с маркировкой AB … CB стоит рассмотреть инструменты увеличения прибыли (по возможности);

– группе товаров CC стоит уделить особое внимание и рассмотреть отдельно. Например, может оказаться, что товар не приносит прибыли и редко продается, но страница данного товара является «точкой входа» в интернет магазин или он влияет на продажи товаров других категорий.

Таким образом, мы можем определить товары, закупкой и продвижением которых стоит заняться в первую очередь. Остальное будет малоэффективно или неоправданно, т.к. отнимет время и ресурсы, но не даст желаемого результата. Двухфакторный ABC-анализ позволит быстро пересмотреть линейку товарных позиций на складе, что поможет за короткое время выйти на прибыльность в продажах.

4. Реализация двухфакторного ABC-анализа средствами Python

Хоть искомый результат и был получен верно, но в процессе ввода формул и копирования данных могут возникнуть ошибки, вызванные человеческим фактором. Поэтому было принято решение написать программу, выполняющую все эти действия, на языке программирования Python с использованием библиотек Pandas и Numpy [9], средой разработки была выбрана бесплатная облачная платформа для создания и выполнения кода Google Colab.

Подключаем библиотеки Pandas и Numpy в среде и загружаем таблицу с отчетом по категории и формируем из нее сводную таблицу с теми же полями, что в Excel (листинг 1).

Листинг 1

Создание сводной таблицы из загруженного Excel файла

```
pivot_table = df.pivot_table(values=['Кол-во', 'Валовая
прибыль'],
                             index='Наименование товара',
                             aggfunc='sum').reset_index()
```

Используем описанный выше алгоритм для определения категории по количеству товара (листинг 2) и для категории по валовой прибыли.

Листинг 2

Алгоритм ABC-анализа для определения категории по количеству продаж

```
sorted_pivot_table = pivot_table.sort_values(by='Кол-во',
ascending=False).reset_index(drop=True)

total_quantity = pivot_table['Кол-во'].sum()
```

```
sorted_pivot_table['Доля от общего количества'] =
sorted_pivot_table['Кол-во'] / total_quantity * 100

sorted_pivot_table['Сумма с нарастающим итогом'] =
sorted_pivot_table['Доля от общего количества'].cumsum()

def classify_abc(row):
    if row['Сумма с нарастающим итогом'] <= 80:
        return 'A'
    elif row['Сумма с нарастающим итогом'] <= 95:
        return 'B'
    else:
        return 'C'

sorted_pivot_table['Категория по количеству'] =
sorted_pivot_table.apply(classify_abc, axis=1)
```

Результатом исполнения кода, представленного на листинге 2 и аналогичного для валовой прибыли, будут промежуточные таблицы, полностью совпадающие с данными расчетов Excel (рис. 5 и рис. 6).

Далее объединяем категории, завершив двухфакторный ABC-анализ, воспользовавшись алгоритмом, приведенном на листинге 3.

	Наименование товара	Валовая прибыль	Кол-во	Доля от общего количества	Сумма с нарастающим итогом	Категория по количеству
0	Товар 2	12600	252	13.326282	13.326282	A
1	Товар 1	625950	166	8.778424	22.104707	A
2	Товар 11	54800	138	7.297726	29.402433	A
3	Товар 21	72136	127	6.716023	36.118456	A
4	Товар 16	41600	104	5.499736	41.618191	A
5	Товар 19	26040	93	4.918033	46.536224	A
6	Товар 12	51000	85	4.494976	51.031200	A
7	Товар 8	75600	72	3.807509	54.838710	A

Рис. 5. Фрагмент результатов ABC-анализа по количеству продаж

	Наименование товара	Валовая прибыль	Кол-во	Доля от общей прибыли	Сумма с нарастающим итогом	Категория по прибыли
0	Товар 1	625950	166	42.441057	42.441057	A
1	Товар 4	78300	57	5.308946	47.750004	A
2	Товар 8	75600	72	5.125879	52.875883	A
3	Товар 21	72136	127	4.891011	57.766893	A
4	Товар 11	54800	138	3.715584	61.482477	A
5	Товар 12	51000	85	3.457934	64.940412	A
6	Товар 25	50757	39	3.441458	68.381870	A
7	Товар 16	41600	104	2.820589	71.202459	A

Рис. 6. Фрагмент результатов ABC-анализа по валовой прибыли

Листинг 3

Алгоритм объединения категорий

```
merged_df_outer = pd.merge(sorted_pivot_table,
sorted1_pivot_table, on='Наименование товара', how='left')

merged_df_outer['Итоговая группа товаров '] =
merged_df_outer['Категория по количеству'] +
 merged_df_outer['Категория по прибыли']

final_df = merged_df_outer[['Наименование товара', 'Итоговая
группа товаров ']]

sorted_final_df = final_df.sort_values(by='Итоговая группа
товаров ', ascending=True)

print(sorted_final_df)
```

Результатом исполнения кода будет распределение товаров по категориям, имеющим двойной индекс, отражающий его группу по количеству продаж и валовой прибыли (рис. 7).

	Наименование товара	Итоговая группа товаров
1	Товар 1	AA
2	Товар 11	AA
3	Товар 21	AA
4	Товар 16	AA
6	Товар 12	AA
7	Товар 8	AA
13	Товар 20	AA
12	Товар 4	AA
5	Товар 19	AB
8	Товар 13	AB
15	Товар 5	AB
11	Товар 7	AB
0	Товар 2	AC
14	Товар 14	AC
9	Товар 3	AC
10	Товар 17	AC
19	Товар 25	BA
22	Товар 27	BA
16	Товар 15	BB
17	Товар 18	BB
18	Товар 22	BB
21	Товар 29	BB
20	Товар 23	BC
24	Товар 26	CA
27	Товар 28	CB
29	Товар 6	CB
28	Товар 10	CC
23	Товар 24	CC
25	Товар 30	CC
26	Товар 9	CC

Рис. 7. Результаты применения метода двухфакторного ABC-анализа средствами Python

Проработанный таким образом отчет можно передавать для принятия управленческих решений, ведущих к повышению экономической эффективности ассортиментной матрицы.

Заключение

Двухфакторный АВС-анализ, является одним из самых простых и достаточно эффективных методов по оптимизации управления бизнесом, повышения прибыли и эффективности работы интернет магазина. Важно проводить его своевременно (перед акциями, при изменениях ситуации с продажами на рынке) и регулярно. Кроме того, постоянно сравнивать результаты метода с предыдущими, чтобы понять, какие управленческие решения повлияли на продажи и прибыль.

У данного метода, есть и некоторые ограничения, например, он не подходит для анализа продаж новых товаров, т.к. анализ происходит на основе статистики, собранной за определенный период времени. Метод не учитывает сезонности и акций интернет магазина. АВС-анализ не позволяет делать прогностических выводов. Поэтому рекомендуют данный метод использовать в сочетании с другими методами категории анализа товарного ассортимента, такими как XYZ [3, 10] и FSN [4, 11].

Список литературы

1. Акулич, М. В. Формирование, оптимизация товарного ассортимента и управление им [Электронный ресурс] / М. В. Акулич. – Москва : Литагент Ridero, 2020. – 123 с. – Режим доступа : https://fictionbook.ru/author/margarita_akulich/formirovanie_optimizaciya_tovarnogo_asso/read_online.html
2. Наумов А.А., Наумова А.А., Баженов Р.И. О некоторых моделях и модификациях классического АВС-анализа [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 12. – Ч. 2. – Режим доступа : https://web.snauka.ru/issues/2014/12/42200
3. Ксенофонтова О.Л., Новосельская Н.А. ABC-XYZ – анализ как средство управления товарным ассортиментом торгового предприятия [Электронный ресурс] // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2013. №2 (34). – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/avs-xyz-analiz-kak-sredstvo-upravleniya-tovarnym-assortimentom-torgovogo-predpriyatiya
4. Asita Ashok Ghewari An Inventory Control using ABC Analysis and FSN Analysis. // 2020. [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://www.researchgate.net/publication/344453208_An_Inventory_Control_using_ABC_Analysis_and_FSN_Analysis/
5. Петрова А. В. Матричные методы анализа товарного ассортимента и их сравнительная характеристика [Электронный ресурс]

// Kant. 2021. №3 (40). – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/matrichnye-metody-analiza-tovarnogo-assortimenta-i-ih-sravnitelnaya-harakteristika

6. Смирнова Л. И., Сидорчукова Е. В., Дрофа М. А., Заремук А. А. ABC-XYZ как аналитический инструмент обоснования управленческих решений [Электронный ресурс] // Вестник Академии знаний. 2022. №3 (50). – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/abc-xyz-kak-analiticheskiy-instrument-obosnovaniya-upravlencheskih-resheniy

7. Деревянко А. А., Рябова Т. В. Сущность и направления использования АВС-анализа [Электронный ресурс] // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. 2014. №24. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-i-napravleniya-ispolzovaniya-avs-analiza

8. Ravinder, H., & Misra, R. B. (2014). ABC Analysis For Inventory Management: Bridging The Gap Between Research And Classroom. American Journal of Business Education (AJBE), 7(3), 257–264. [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://doi.org/10.19030/ajbe.v7i3.8635

9. Васильченко А. М. Как проводить анализ данных при помощи Python? [Электронный ресурс] // Инновации и инвестиции. 2023. №5. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/kak-provodit-analiz-dannyh-pri-pomoschi-python

10. Жуков О.В., Сазонов С.П., Оноприенко Ю.Г., Мершиева Г.А. Методика применения ABC/XYZ-анализа для целей управления запасами в ERP-системе предприятия [Электронный ресурс] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017;79(1):477-484. – Режим доступа : https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-477-484

11. Kumar, Amit & Shukla, Dr. (2022). Selective Inventory Control Using ABC And FSN Analysis in Retail Sector: A Case Study. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 10. 4810-4818. [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.43648

К вопросу о распространении продольных волн в насыщенной жидкостью и газом пористой среде

Л. А. Кукарских, e-mail: kukarskih.liubov@yandex.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *В работе получены формулы для определения скоростей упругих продольных волн, распространяющихся в трехкомпонентных пористых средах, построены графики зависимости скорости распространения продольных волн от пористости среды.*

Ключевые слова: *жидкость, газ, среда, пористость, продольная волна, скорость.*

Введение

Среды, насыщенные жидкостью и газом, или трехкомпонентные среды довольно часто встречаются не только в природе естественного происхождения, но и искусственно-созданные широко применяются в различных сферах хозяйственной деятельности. Практически все материалы содержат пустоты, то есть пористость является неотъемлемой частью их структуры. Это песок, грунты, инертные материалы, различные бетоны, композиционные пористые материалы, строительные материалы и т. п. Поэтому при решении многих задач прикладного характера необходимо учитывать физические свойства используемых материалов [1].

Возьмем простейший случай распространения упругих волн в однородной, насыщенной жидкостью и газом пористой среде, допустим, угле, бетоне или асфальтобетоне. Рассмотрим распространение скоростей продольных волн в плоскости распространения волновой поверхности трехкомпонентной пористой среды в продольном направлении.

Под волной в насыщенной жидкостью и газом пористой среде понимается изолированная поверхность, на которой напряжения, силы, действующие на жидкость и газ и скорости перемещения компонент непрерывны, а их некоторые частные производные терпят разрыв. Поэтому для описания процесса используется математическая теория разрывов.

© Кукарских Л. А., 2025

1. Распространение продольных волн

Динамическое поведение трехкомпонентной среды под любым воздействием определяется как движение жидкости и газа в деформируемой пористой среде и характеризуется следующими уравнениями: уравнением полного тензора напряжений в скелете; уравнениями сил, действующих на жидкость и газ к единице площади поперечного сечения пористой среды, и уравнениями движения пористой среды [2].

После ряда преобразований и предположения, что $\rho_{ij} = \rho_{ji}$, получим однородную систему трех линейных уравнений относительно скоростей волн ускорений в насыщенной жидкостью и газом пористой среде $\omega_\alpha = \lambda^{(\alpha)}\nu$ [3].

$$\begin{gathered}
\{(1-m)R_0^{(2)} - \rho_{12}c^2\}\omega_1 + (mR_0^{(2)} - \rho_{22}c^2)\omega_2 + \{(1-m)R_0^{(2)} - \rho_{23}c^2\}\omega_3 = 0\,, \\
\{(1-m)R_0^{(3)} - \rho_{13}c^2\}\omega_1 + \{(1-m)R_0^{(3)} - \rho_{23}c^2\}\omega_2 + \{mR_0^{(3)} - \rho_{33}c^2\}\omega_3 = 0\,, \\
\{\Lambda - \rho_{11}c^2\}\omega_1 + \{(1-m)R_0^{(2)} - \rho_{12}c^2\}\omega_2 + \{(1-m)R_0^{(3)} - \rho_{13}c^2\}\omega_3 = 0\,, \\
\Lambda = \lambda + 2\mu\,.
\end{gathered} \tag{1}$$

Здесь λ, μ – коэффициенты Ламе; R – коэффициенты, зависящие от модуля сжимаемости компонент: $R_0^{(2)}$ – модуль сжимаемости жидкости, $R_0^{(3)}$ – модуль сжимаемости газа; m – пористость среды (меняется от 0 до 1); α – компоненты среды: 1– твердая пористая (скелет), 2 – жидкость, 3 – газ; $\lambda^{(a)}$ – скорости перемещения компонент; ν – единичный вектор нормали к волновой поверхности, $\rho_{11}, \rho_{22}, \rho_{33}$ – эффективные плотности твердой компоненты, жидкости и газа; $\rho_{12} < 0, \rho_{13} < 0, \rho_{23} < 0$ – коэффициенты динамической связи скелета, жидкости и газа; ρ_{12} – интенсивность перехода массы из второй фазы в первую; ρ_{13} – интенсивность перехода массы из третьей фазы в первую; ρ_{23} – интенсивность перехода массы из третьей фазы во вторую.

Эффективные или истинные плотности твердой фазы, жидкости и газа в порах определяются по формулам [4]:

$$\rho_{11} = \frac{\rho_1}{\alpha_1},\ \rho_{22} = \frac{\rho_2}{\alpha_2},\ \rho_{33} = \frac{\rho_3}{\alpha_3} \tag{2}$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 – массы фаз в единице объема среды; a_1, a_2 и a_3 – величины, характеризующие доли объема смеси, занимаемые каждой фазой ($a_1 + a_2 + a_3 = 1$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, $a_3 > 0$)

$$\rho_1 = \Lambda\,,\ \rho_2 = (1-m)\rho_{ж}\,,\ \rho_3 = m\rho_{г} \tag{3}$$

где $\rho_{ж}$, $\rho_{г}$ – плотности фаз.- уравнения движения.

Эффективные плотности фаз связаны с коэффициентами динамической связи следующим образом.

$$\begin{aligned}\rho_{11} &= \rho_1 - \rho_{12} - \rho_{13}\\ \rho_{22} &= \rho_2 - \rho_{12} - \rho_{23}\\ \rho_{33} &= \rho_3 - \rho_{13} - \rho_{23}\end{aligned} \tag{4}$$

Для упрощения системы (1) вводим обозначения [3].

$$\begin{gathered}\gamma_{11} = \frac{\rho_{11}}{\rho}, \gamma_{12} = \frac{\rho_{12}}{\rho},\ \ \gamma_{22} = \frac{\rho_{22}}{\rho}, \gamma_{13} = \frac{\rho_{13}}{\rho},\ \ \gamma_{23} = \frac{\rho_{23}}{\rho}, \gamma_{33} = \frac{\rho_{33}}{\rho},\\ \rho = \rho_{11} + 2\rho_{12} + \rho_{22} + 2\rho_{13} + 2\rho_{23} + \rho_{33},\\ \sigma_{11} = \frac{\Lambda}{M},\ \ \sigma_{12} = \sigma_{23} = \frac{(1-m)R_0^{(2)}}{M},\\ \sigma_{22} = \frac{mR_0^{(2)}}{M},\ \sigma_{13} = \sigma_{32} = \frac{(1-m)R_0^{(3)}}{M},\ \sigma_{33} = \frac{mR_0^{(3)}}{M},\\ M = \Lambda + 3(1-m)R_0^{(2)} + mR_0^{(2)} + 3(1-m)R_0^{(3)} + mR_0^{(3)}\end{gathered} \tag{5}$$

В безразмерной форме система (1) примет вид:

$$\begin{aligned}&\{\sigma_{11}z - \gamma_{11}\}\omega_1 + \{\sigma_{12}z - \gamma_{12}\}\omega_2 + \{\sigma_{13}z - \gamma_{13}\}\omega_3 = 0\,,\\ &\{\sigma_{12}z - \gamma_{12}\}\omega_1 + (\sigma_{22}z - \gamma_{22}\}\omega_2 + \{\sigma_{23}z - \gamma_{23}\}\omega_3 = 0\,,\\ &\{(\sigma_{13}z - \gamma_{13}\}\omega_1 + \{\sigma_{32}z - \gamma_{23}\}\omega_2 + \{\sigma_{33}z - \gamma_{33}\}\omega_3 = 0\,,\\ &z = \frac{c^2}{G^2},\ G^2 = \frac{M}{\rho},\ c^2 = \frac{z \bullet M}{\rho},\end{aligned} \tag{6}$$

где c – скорость распространения продольных волн в пористой среде; z – коэффициент отношения скоростей; G – скорость распространения волновой поверхности пористой среды в продольном направлении.

Учитывая, что

$$\begin{aligned}M &= \Lambda + 3(1-m)R_0^{(2)} + mR_0^{(2)} + 3(1-m)R_0^{(3)} + mR_0^{(3)} = 1\,,\\ \rho &= \rho_{11} + 2\rho_{12} + \rho_{22} + 2\rho_{13} + 2\rho_{23} + \rho_{33} = 1\end{aligned} \tag{7}$$

Значит, скорость распространения продольных волн в пористой среде определяется через соотношение:

$$c^2 = z\,, \tag{8}$$

Система (6) имеет только тогда нестандартное решение, когда ее определитель равен нулю. Раскрывая определитель третьего порядка, составленного из коэффициентов при неизвестных $\lambda_k^{(1)}$, ω_2 и $\lambda_k^{(2)}$ системы (6), получим кубическое уравнение относительно z [5].

$$az^3 + bz^2 + dz + k = 0$$

$$\begin{aligned}
a &= \sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33} - \sigma_{11}\sigma_{12}\sigma_{13} - \sigma_{12}^2\sigma_{33} + \sigma_{12}\sigma_{13}^2 + \sigma_{13}\sigma_{12}^2 - \sigma_{13}^2\sigma_{22} \\
b &= -\sigma_{11}\sigma_{22}\gamma_{33} - \sigma_{11}\sigma_{33}\gamma_{22} + \sigma_{11}\sigma_{13}\gamma_{23} + \sigma_{11}\sigma_{12}\gamma_{23} + \\
&+ \sigma_{12}\sigma_{12}\gamma_{33} + \sigma_{12}\sigma_{33}\gamma_{12} - \sigma_{12}\sigma_{13}\gamma_{13} - \sigma_{12}\sigma_{13}\gamma_{23} - \\
&- \sigma_{13}\sigma_{12}\gamma_{23} - \sigma_{13}\sigma_{12}\gamma_{12} + \sigma_{13}\sigma_{22}\gamma_{13} + \sigma_{13}\sigma_{13}\gamma_{22} - \\
&- \sigma_{22}\sigma_{33}\gamma_{11} + \sigma_{12}\sigma_{13}\gamma_{11} + \sigma_{12}\sigma_{33}\gamma_{12} - \sigma_{13}^2\gamma_{12} - \sigma_{12}^2\gamma_{13} + \sigma_{13}\sigma_{22}\gamma_{13} \\
d &= \sigma_{22}\gamma_{11}\gamma_{33} + \sigma_{33}\gamma_{11}\gamma_{22} - \sigma_{13}\gamma_{11}\gamma_{23} - \sigma_{12}\gamma_{11}\gamma_{23} - \sigma_{12}\gamma_{12}\gamma_{33} - \sigma_{33}\gamma_{12}^2 + \\
&+ \sigma_{13}\gamma_{12}\gamma_{13} + \sigma_{13}\gamma_{12}\gamma_{23} + \sigma_{12}\gamma_{13}\gamma_{23} + \sigma_{12}\gamma_{12}\gamma_{13} - \sigma_{22}\gamma_{13}^2 - \sigma_{13}\gamma_{13}\gamma_{22} + \\
&+ \sigma_{11}\gamma_{22}\gamma_{33} - \sigma_{11}\gamma_{23}^2 - \sigma_{12}\gamma_{12}\gamma_{33} + \sigma_{12}\gamma_{13}\gamma_{23} + \sigma_{13}\gamma_{12}\gamma_{23} - \sigma_{13}\gamma_{13}\gamma_{22} \\
k &= -\gamma_{11}\gamma_{22}\gamma_{33} + \gamma_{11}\gamma_{23}^2 + \gamma_{12}^2\gamma_{33} - \gamma_{12}\gamma_{13}\gamma_{23} - \gamma_{12}\gamma_{13}\gamma_{23} + \gamma_{13}^2\gamma_{22}
\end{aligned} \tag{9}$$

Преобразуем уравнение 3-й степени (9) к каноническому виду с помощью ввода новой переменной $x = z + b/3a$ (при $\alpha \neq 0$):

$$x^3 + 3px + 2q = 0\,,$$

$$3p = \frac{3\alpha d - b^2}{3\alpha^2},\quad 2q = \frac{2b^3}{27\alpha^3} - \frac{bd}{3\alpha^2} + \frac{k}{\alpha} \tag{10}$$

Число действительных корней уравнения (10) определяется знаком дискриминанта ($D = q^2 + p^3$).

2. Зависимость распространения скоростей продольных волн от пористости трехкоимпонентной среды

Рассмотрим это на конкретном примере [4].

То есть найдем решение кубического уравнения (9) для скоростей продольных волн c, выраженных через z и распространяющихся в пористой насыщенной жидкостью и газом среде, при следующих числовых значениях, характеризующих динамическое деформирование среды [4]: $\gamma_{11} = 0,7$; $\gamma_{12} - 0,02$; $\gamma_{22} = 0.32$; $\gamma_{13} = -0.02$; $\gamma_{23} = -0.02$; $\gamma_{33} = 0.1$; $\sigma_{11} = 0,51$.

Для пористости $m = 0,2;\ 0,4;\ 0,7$ $\sigma_{12} = 0,05;\ 0,036;\ 0,02$; $\sigma_{22} = 0,25;\ 0,19;\ 0,3$; $\sigma_{13} = 0,05;\ 0,032;\ 0,02$; $\sigma_{33} = 0,09;\ 0,1;\ 0,08$.

Учтем, что $\sigma_{12} = \sigma_{21}$ и $\sigma_{13} = \sigma_{31} = \sigma_{23} = \sigma_{32}$.

Имеем три кубических уравнения для каждого значения пористости. Дискриминанты этих уравнений меньше 0, значит каждое уравнение будет иметь три различных действительных корня.

Решение кубических уравнений будем искать посредством вспомогательных величин, вычисленных на основе таблиц [6]. В нашем случае $p < 0$ и $D < 0$, поэтому определяем следующие вспомогательные величины $r = \pm\sqrt{|p|}$ и $\cos\phi = q/r^3$ и находим корни уравнения (10)

Полученные результаты приведены в таблице.

Таблица

Коэффициенты для определения скорости продольных волн

m	q	p	r	D	φ	z_1	z_2	z_3
0,2	0,0347	0,035	0,4	-0,002957	1,0022	0,69	2,06	1,602
0,4	0,0163	0,016	0,38	-0,002955	1,2788	0,76	2,09	1,542
0,7	0,0067	0,007	0,23	-0,000092	0,9605	0,84	1,61	1,363

По табличным данным построены графические зависимости (рисунок). На рисунке показано влияние пористости трехкомпонентной среды на распространение продольных волн для фиксированных значений параметра пористости: $m = 0,2;\ 0,4;\ 0,7$ и каждого корня $z_i, i = 1,2,3$.

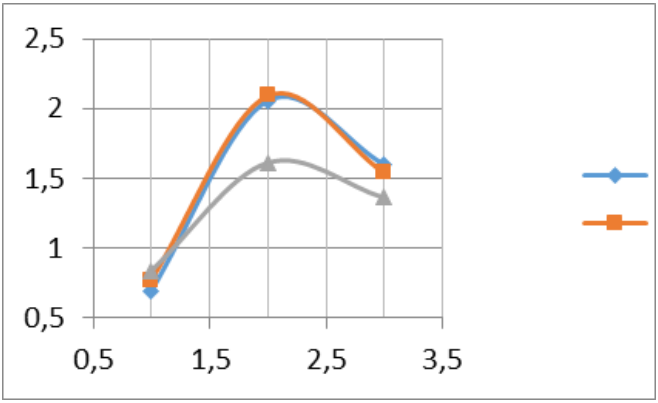


Рисунок. Зависимость распространения продольных волн в трехкомпонентной среде от пористости среды распространения

Из рисунка следует, что скорости продольных волн в среде с пористостью 0.2 принимают значения в пределах от 0.69 до 2.06; с пористостью 0.4 – от 0,76 до 2,1; с пористостью 0.7 – от 0,84 до 1,61. Все кривые носят синусоидальный характер. С увеличением пористости компоненты скорости увеличиваются, но незначительно, а потом уменьшаются.

Заключение

В трехкомпонентной пористой среде распространяется три продольные волны, скорости распространения которых находятся как решение кубического уравнения (9). Скорости существенным образом зависят от характеристик среды: модулей сжимаемости компонент, плотности и динамической связи их, пористости. Построенные графики (рисунок) наглядно демонстрируют зависимости продольных скоростей от пористости среды.

Исследование поведения продольных волн в насыщенных жидкостью и газом пористых средах продолжает исследования волновых процессов и является важной составляющей для разработки новых технологий по созданию и использованию многокомпонентных сред, применяемых в разных областях: строительстве, машиностроении, приборостроении, металлургии, атомной энергетике и т.п.

Список литературы

1. Кукарских Л.А. Применение пористых материалов при строительстве аэродромов / Л.А. Кукарских, В. С. Поленов, А. Н. Попов // Сб. мат. докладов Всерос. научно-практической конф. «Военно-воздушные силы – 100 лет на страже неба России: история, современное состояние и перспективы развития» (Воронеж, 16-17 мая 2012 г.). Ч.3. – Воронеж, 2012 – С. 121-122.

2. Biot M. A. Theory of elastic waves in a fluid-saturated porous solid / M. A. Biot // J.Acoust. Soc. America, 1959, V. 28, №2. – P.168-178.

3. Поленов В.С. Основные уравнения динамического деформирования трехкомпонентных сред / В.С. Поленов // Современные тенденции развития естествознания и технических наук: сб. науч. тр. по материалам МНПК (Белгород, 2018 г.). – Белгород, 2018. – С. 31-34.

4. Кукарских Л. А. Моделирование волновых процессов в пористой среде / Л.А. Кукарских, М.А. Артемов // Вестник. ВГТУ. – 2013. – Т. 9, № 2. – С. 123-127

5. Кукарских Л. А. Моделирование распространения скоростей волновой поверхности и продольных волн в трехкомпонентной среде / Л. А. Кукарских, Г. И. Трифонов // XL Всероссийская НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных

технических и информационных систем» (Военная академия РВСН имени Петра Великого, 24-25 июня 2021 г.) – Изд-во филиала Военной академии РВСН имени Петра Великого в г. Серпухове, 2021. – Ч.6. – С. 84-90.

6. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев К.А. – М.: 1964. 608 с.

Применение w-алгебры для решения задач нечеткой линейной парной регрессии

Матвеев М. Г. e-mail: mgmatveev@yandex.ru
Алейникова Н. А. e-mail: balbashovan@mail.ru
Громковский А. А. e-mail: aag68@bk.ru
Богданова Н. С. e-mail: bogdanova2077@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Россия

Аннотация. *Целью работы является совершенствование алгоритмов обучения нечеткой регрессионной модели на основе использования w-алгебры нечетких чисел. В результате проведенного исследования предложен подход и методика оценки параметров модели нечеткой парной регрессии с использованием классического метода наименьших квадратов и обработкой нечетких данных при помощи w-алгебры нечетких чисел. Проведен сравнительный анализ с известными альтернативными подходами, который показал работоспособность предложенной методики. Показанное в примерах незначительное снижение точности моделирования не может повлиять на качество принятия решений в условиях неполной определенности. При этом использование w-алгебры нечетких чисел позволяет существенно упростить алгоритмы построения модели регрессии, что способствует ее применению в решении практических задач.*

Ключевые слова: *моделирование, регрессионный анализ, линейная регрессия, нечеткие числа, алгебраические структуры нечетких чисел, w-алгебра, оценивание параметров модели, метод наименьших квадратов.*

Введение.

Модель линейной регрессии как линейная комбинация базисных функций, $y = \sum_{j=0}^{n} a_j f_j(x)$ широко используются при решении задач в разнообразных предметных областях. При этом предполагается, что значения базисных функций (в частном случае это независимые переменные x) и результат y наблюдаемы на моделируемом объекте с некоторой степенью неопределенности. Машинное обучение модели с

© Матвеев М. Г., Алейникова Н. А., Громковский А. А., Богданова Н. С., 2025

заданной структурой заключается в оценке параметров a_j по результатам наблюдения пар $\{(y_i;(f_0;...;f_n))\}$. Хорошо известны статистические методы обучения, основанные на учете вероятностной неопределенности и методах математической статистики, например, [1]. При этом мощность множества наблюдений должна обеспечивать статистическую значимость получаемых оценок, т.е. быть достаточно большой. Однако часто, особенно в организационных системах, приходится иметь дело с нечеткой, расплывчатой неопределенностью, когда результат наблюдений является экспертной оценкой в отсутствии статистических результатов многократных испытаний. В таких случаях для обучения приходится использовать нечеткие числовые переменные [2]. Использование понятия нечеткости делает модели более гибкими и приспособленными к реальным условиям моделируемых объектов. Но возникает проблема использования статистических идей машинного обучения для моделирования с экспертными, по сути, категориальными данными. Эта проблема заключается в особенностях работы с нечеткими числами. Классическая структура множества нечетких чисел представляет собой векторную решетку [3], которая не обеспечивает получение адекватных результатов вычислений, в частности, в рассматриваемых задачах машинного обучения. Возможным выходом из такой ситуации является использование специальных алгоритмов, основанных на выборе подходящей метрики на множестве нечетких чисел или специального способа задания нечеткого числа. Например, при решении задач линейной регрессии такой подход использовался в работах [4-8]. Во всех этих работах необходимо отметить наличие ряда ограничений, накладываемых как на вид нечеткого числа, например, требование симметричности функции принадлежности [5], ряда других особенностей, например, сведение получения оценки к задаче вариационного исчисления [8], которые обуславливают громоздкость вычислительного процесса, затрудняющую практическую реализацию. Альтернативой такому подходу является совершенствование алгебраических структур нечетких чисел, направленное на получение адекватных результатов более простыми вычислительными алгоритмами. Примерами таких разработок являются работы [9-12]. К этому направлению можно отнести разработку w-алгебры нечетких чисел [13,15], в рамках которой допускается некоторое отклонение от фундаментального принципа расширения Л. Заде [14]. Указанное допущение можно считать оправданным, если w-алгебра позволяет существенно упростить решение и привести к адекватному виду его результаты.

Целью настоящего исследования является совершенствование алгоритмов обучения нечеткой модели регрессии на основе использования w-алгебры нечетких чисел. При проведении исследования рассматривалась задача нечеткой парной линейной регрессии с нечеткими входной и выходной переменной и четкой зависимостью (рис.1).

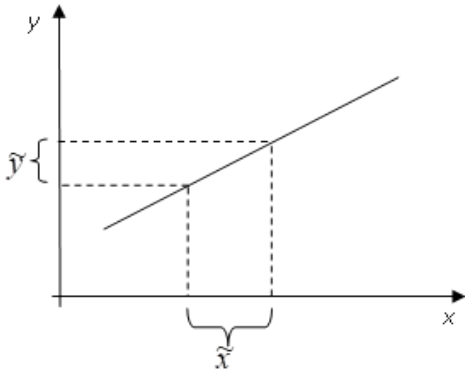


Рисунок. Задача нечеткой парной линейной регрессии с нечеткими входной и выходной переменными и четкой зависимостью

Модель нечеткой парной регрессии имеет следующий вид:

$$\tilde{y}^{M} = a_0 + a_1\tilde{x}\,, \qquad (1)$$

где $\tilde{x}, \tilde{y}$ - нечеткие переменные.

Задача заключается в получении оценок параметров a_0, a_1 на основе результатов наблюдений нечетких значений $\tilde{x}, \tilde{y}$.

2. W-алгебра нечетких чисел.

Рассмотрим основные определения и свойства w-алгебры и w-чисел [13].

Определение 1. Нечетким треугольным однокомпонентным числом будем называть нечеткое число, представленное в виде $\tilde{x} = x(r) = x(0) + (x(1) - x(0)) \cdot r$, где $r \in [0;1]$; $x(0), x(1)$ – числовые значения, задающие границы r- сечения, соответственно при $r = 0, r = 1$.

Определение 2. Нечетким двухкомпонентным треугольным числом или w-числом $\tilde{x}$ будем называть конструкцию, представленную

вектором $(x^L(r); x^R(r))$ для которой выполняется условие $x^L(1) = x^R(1)$ (наличие единой моды треугольного w-числа).

Алгебра w-чисел (далее w-алгебра) предполагает автономное выполнение арифметических операций над левыми компонентами (L) операндов с записью результата в левую компоненту итогового числа и над правыми компонентами (R) с соответствующей записью в правую компоненту итогового числа.

Определение 3. Пусть компоненты (левые или правые) двух W-чисел представлены в виде $x(r) = x(0) + (x(1) - x(0)) \cdot r$, где $x(0), x(1)$ – действительные числа. Тогда, в результате выполнения операции, соответствующая компонента результирующего w-числа примет вид $x1(r) * x2(r) = x(0) + (x(1) - x(0)) \cdot r$, где $x(0) = x1(0) * x2(0)$; $x(1) = x1(1) * x2(1)$; $* \in \{+;-;:;/\}$ и все операции выполняются по правилам работы с действительными числами.

Операции линейны по переменной r, множество W всех w-чисел является замкнутым по всем операциям, то есть если $x_i(r), x_j(r) \in W$, то $x_i(r) * x_j(r) = x(r) \in W$, где $* \in \{+;-;:;/\}$.

Определение 4. Пусть $\tilde{x}_1 = (\tilde{x}_1^L; \tilde{x}_1^R)$ и $\tilde{x}_2 = (\tilde{x}_2^L; \tilde{x}_2^R)$ два w-числа. Тогда операции между этими числами будут производиться в соответствии со следующим правилом: $\tilde{x}_1 * \tilde{x}_2 = [(x_1^L(r) * x_2^L(r)); (x_1^R(r) * x_2^R(r))$, где $* \in \{+;-;:;/\}$.

Определение 5. Производную нечеткой переменной $\tilde{x}(r)$ определим следующим образом – $(\tilde{x}(r))' = (x(0) + (x(1) - x(0))r)' = (x(1) - x(0))$. Такое определение производной для однокомпонентного треугольного числа соответствует тангенсу угла наклонной стороны функции принадлежности.

Определение 6. Интеграл нечеткой переменной $\tilde{x}(r)$ определим следующим образом – $\int_0^1 \tilde{x}(r)dr = \int_0^1 (x(0) + (x(1) - x(0))r)dr$.

3. Метрика на множестве нечетких w-чисел

Для обучения нечеткой парной линейной регрессии с использованием метода наименьших квадратов (МНК) необходимо ввести метрику на множестве нечетких чисел. Поскольку в w-алгебре нечеткие числа являются выпуклыми компактами, введем расстояние между наблюдаемым значением нечеткого числа $\tilde{y}$ и соответствующим

модельным значением $\tilde{y}^{M}$ как агрегированное расстояние между r-срезами $y(r)$ и $y^{M}(r) = a_0 + a_1\tilde{x}(r)$ [16].

Учитывая, что w-числа состоят из двух автономных компонент, целесообразно рассматривать два расстояния для левых и правых компонент:

$$d^{L} = \left| \int_0^1 (y^{L}(r) - y^{M\,L}(r))dr \right| \tag{2}$$

- расстояние между левыми компонентами,

$$d^{R} = \left| \int_0^1 (y^{R}(r) - y^{M\,R}(r))dr \right| \tag{3}$$

- расстояние между правыми компонентами.

Нетрудно убедиться, что все необходимые аксиомы меры в данном случае соблюдены.

Очевидно, что полное расстояние определяется как:

$$d(r) = d^{L}(r) + d^{R}(r) \tag{4}$$

Полученные выражения (2-4) можно существенно упростить. Вычислим интеграл $\int_0^1 (y(r) - y^{M}(r))dr$ с учетом того, что $y^{M}(r) = a_0 + a_1(x(0) + (x(1) - x(0))r$.

Для треугольных L и R-чисел получим:

$$\begin{aligned} &\int_0^1 (y(r) - y^{M}(r))dr = 0{,}5(y(0) - y(1)) - 0{,}5(y^{M}(0) - y^{M}(1)) = \\ &= y(0{,}5) - y^{M}(0{,}5) \end{aligned} \tag{5}$$

Тогда расстояние между наблюдаемой и модельной нечеткими величинами можно определять выражением, позволяющим перейти к методу наименьших квадратов:

$$d = (y(0{,}5) - y^{M}(0{,}5))^2 \tag{6}$$

4. Метод наименьших квадратов с нечеткими числами.

Критерий наименьших квадратов для оценки параметров нечеткой парной линейной регрессии будет иметь вид:

$$I = \sum_{i=1}^{n} (\tilde{y}_i - a_0 - a_1 \tilde{x}_i(r))^2 \to \min \qquad (7)$$

Определим частные производные по параметрам $a_0; a_1$, приравняем их к нулю, получим:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} (\tilde{y}_i - a_0 - a_1 \tilde{x}_i)(-1) = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} (\tilde{y}_i - a_0 - a_1 \tilde{x}_i)(-\tilde{x}_i) = 0 \end{cases}, \quad \begin{cases} na_0 + a_1 \sum_{i=1}^{n} \tilde{x}_i = \sum_{i=1}^{n} \tilde{y}_i; \\ a_0 \sum_{i=1}^{n} \tilde{x}_i + a_1 \sum_{i-1}^{n} \tilde{x}_i^2 = \sum_{i=1}^{n} \tilde{y}_i \tilde{x}_i \end{cases} \qquad (8)$$

В нормальной системе уравнений (8) все нечеткие числа представляются в виде $\tilde{x} = x(r) = x(0) + (x(1) - x(0)) \cdot r$ при $r = 0{,}5$. Это обеспечивает получение классической системы линейных уравнений.

Система уравнений (8) получена для одной из компонент w-числа, поэтому ее следует скорректировать с учетом выражения (4). Критерий наименьших квадратов и система уравнений для получения МНК-оценок параметров нечеткой регрессии окончательно примут следующий вид:

$$I = \sum_{i=1}^{n} [(\tilde{y}^L{}_i - a_0 - a_1 \tilde{x}^L{}_i(r))^2 + (\tilde{y}^R{}_i - a_0 - a_1 \tilde{x}^R{}_i(r))^2] \to \min \qquad (9)$$

$$\begin{cases} 2na_0 + \sum_{i=1}^{n} (\tilde{x}_i^L + \tilde{x}_i^R) a_1 = \sum_{i=1}^{n} (\tilde{y}_i^L + \tilde{y}_i^R) \\ \sum_{i=1}^{n} (\tilde{x}_i^L + \tilde{x}_i^R) a_0 + \sum_{i=1}^{n} (\tilde{x}_i^L + \tilde{x}_i^R)^2 a_1 = \sum_{i=1}^{n} (\tilde{x}_i^L + \tilde{x}_i^R)(\tilde{y}_i^L + \tilde{y}_i^R) \end{cases} \qquad (10)$$

Решение системы (10) дает оценки параметров a_0 и a_1.

5. Численная апробация МНК для линейной парной регрессии с четкими параметрами и нечеткими переменными.

Целью численной апробации является сравнение результатов предложенного подхода к получению оценок модели (1) с известными подходами к решению этой же задачи, приведенными в работах [2,7]. В этих работах используются различные представления нечетких LR-чисел и разные метрики сравнения нечетких чисел.

Пример 1. В работе [2] для оценки параметров модели (1) используется метрический подход, основанный на вычислении аддитивного агрегирования меры отклонения моды симметричных LR-

чисел и их коэффициентов нечеткости в наблюдаемых и модельных значениях. Нормальные системы уравнений рассматривались отдельно для случаев неотрицательного и отрицательного параметра a_1.

Оценка производилась на основании наблюдений, представленных в таблице 1, в результате были получены оценочные значения параметров модели (1).

Таблица 1

Наблюдаемые переменные примера 1

X_i	Y_i
(2,5; 3; 3,5)	(0,5; 1; 1,5)
(0,5; 1; 1,5)	(1,5; 2; 2,5)
(2; 3; 4)	(4; 5; 6)
(0; 0; 0)	(3,5; 4; 4,5)
(2; 3; 4)	(0; 0; 0)

Эти же данные были использованы для получения оценок параметров на основе предложенного подхода – классический МНК с w-алгеброй. Так как метрики подходов не совпадали, то качество оценок, полученных при реализации подхода, предложенного в работе [2] и подхода, предлагаемого авторами данной статьи, определялось сравнением среднего значения остатков $\sigma = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sqrt{(\widetilde{y}_i - \widetilde{y}_i^{M})^2}$, вычисляемых как средняя разность:

$$\frac{1}{3\cdot n}\Big(\sum_{i=1}^{n}\sqrt{((y^L{}_i(0) - y_i^{ML}(0))^2} + \sum_{i=1}^{n}\sqrt{((y_i(1) - y_i^{M}(1))^2} + \sum\sqrt{((y^R{}_i(0) - y_i^{MR}(0))^2}\Big).$$

При этом нечеткие модельные значения в обоих случаях вычислялись по полученным оценкам параметров для каждой соответствующей строки таблицы наблюдений $\widetilde{y}_i^{M} = a_0 + a_1\widetilde{x}_i$, где i - номер строки таблицы наблюдений.

Дополнительно оценивалось среднее значение отклонения в моде нечетких выходов $E = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i(1) - y_i^{M}(1))$.

Результаты сравнения показаны в таблице 2.

Данные таблицы показывают, что в целом предложенный подход на основе применения классического МНК с w-алгеброй нечетких чисел работоспособен, хотя и несколько уступает подходу, описанному в работе [2], по точности моделирования.

Таблица 2

Результаты сравнения методик примера 1

№ строки	Результаты по методике [2] $a_0 = 3{,}45;\ a_1 = -0{,}52$			Результаты по предложенной методике с w-алгеброй $a_0 = 2{,}50;\ a_1 = -0{,}05$		
	$y^{мL}(0)$	$y^{м}(1)$	$y^{мR}(0)$	$y^{мL}(0)$	$y^{м}(1)$	$y^{мR}(0)$
1	1,61	1,88	2,14	2,32	2,35	2,37
2	2,66	2,92	3,19	2,43	2,45	2,48
3	1,35	1,88	2,40	2,30	2,35	2,40
4	3,45	3,45	3,45	2,50	2,50	2,50
5	1,35	1,88	2,40	2,30	2,35	2,40
	$E = 0;\quad \sigma = 1{,}47$			$E = 0;\quad \sigma = 1{,}66$		

Пример 2. Второй альтернативный подход, приведенный в работе [7], основан на метрике МНК и использует методы вариационного исчисления, поскольку нечеткие переменные в этом исследовании задаются в виде функции. Наблюдаемые переменные приведены в таблице 3.

Таблица 3

Наблюдаемые переменные примера 2

X_i	Y_i
(6,2; 8,0; 9,8)	(1,0; 1,0; 1,0)
(4,2; 6,4; 8,6)	(2,0; 2,0; 2,0)
(6,9; 9,5; 12,1)	(3,0; 3,0; 3,0)
(10,9; 13,5; 16,1)	(4,0; 4,0; 4,0)
(10,6; 13,0; 15,4)	(5,0; 5,0; 5,0)

Сравнение проводилось по методике аналогичной предыдущему примеру. Результаты сравнения показаны в таблице 4.

Результаты второго примера также подтверждают работоспособность предлагаемой методики.

Таблица 4

Результаты сравнения методик примера 2

Результаты по методике [7]	Результаты по методике с w-алгеброй
$a_0 = 4{,}95;\quad a_1 = 1{,}71;\quad \sigma = 2{,}706$	$a_0 = 10.03; a_1 = 0{,}016; \sigma = 2{,}786; E = 0$

Заключение.

В работе предложен подход и методика оценки параметров модели нечеткой парной регрессии с использованием классического МНК и обработкой нечетких данных при помощи w-алгебры нечетких чисел. Проведенный сравнительный анализ с известными альтернативными подходами показал работоспособность предложенной авторами статьи методики. Незначительное снижение точности моделирования, показанное в примерах, не может существенно влиять на качество принятия решений в условиях неполной определенности. При этом использование w-алгебры нечетких чисел позволяет существенно упростить алгоритмы построения модели, что способствует ее использованию в решении практических задач.

Список литературы

1. Доугерти К., Введение в эконометрику / Пер. с англ. Е.Н. Лукаш, О.Ю. Шибалкин; науч.ред. О.О. Замков. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 465 с.

2. Броневич, А.Г. Нечеткие модели анализа данных и принятия решений: учебное пособие / А.Г. Броневич, А.Е. Лепский. – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. – 264 с.

3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин [и др.] ; под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Наука, 1986. – 311 с.

4. Tanaka, H. Linear regression analysis with fuzzy model / H.Tanaka, S. Uejima, K. Asai // IEEE Transactions of systems Man Cybernet. – 1982. – Vol.12. – P. 903-907.

5. Леденева, Т.М. Нечеткая множественная линейная регрессионная модель для симметричных нечетких чисел L-R-типа / Т.М. Леденева, Н.В. Сапкина // Современная экономика: проблемы и решения: науч.- практ. журнал. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2011. – № 10. – С. 174-181.

6. Сапкина, Н.В. Нечеткая парная линейная регрессия и корреляция / Н.В. Сапкина // Современная экономика: проблемы и решения: науч.-практ. журнал. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2013. – № 10 (46). – С. 178-189.

7. Вельдяксов, В.Н. О методе наименьших квадратов с нечеткими данными / В.Н. Вельдяксов, А.С. Шведов // Экономический журнал ВШЭ. – Москва, 2014. – № 2. – С. 328-344.

8. Nagoor Gani, A. A new operation on triangular fuzzy number for Solving Fuzzy Linear Programming Problem / A. Nagoor Gani, S. N. Mohamed Assarudeen // Applied Mathematical Sciences. – 2012. – Vol. 6, № 11. – P. 525-532.

9. Chalco-Cano, Y. Single level constraint interval arithmetic / Y. Chalco-Cano, W.A. Lodwick, B. Bede // Fuzzy Sets and Systems. – 2014. – №257. – P. 146-168.

10. Ghazanfari, B. Numerical solutions of fuzzy differential equations by extended Runge–Kutta-like formulae of order 4 / B. Ghazanfari, A. Shakerami. // Fuzzy Sets and Systems. – 2011. – №189. – P. 74-91.

11. Lodwick, W.A. Interval and fuzzy analysis: a unified approach. / W.A. Lodwick // Advances in Imaging and Electronic Physics. – Peter W. Hawkes (Ed.) Academic Press, 2007. – vol.148. – P. 76-192.

12. Шевляков, А.О. Сравнение различных нечетких арифметик / А.О. Шевляков, М.Г. Матвеев // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2017. – № 4. – С. 60-68.

13. Шевляков, А.О. Алгебра трапециевидных чисел для обработки нечеткой информации / А.О. Шевляков, М.Г. Матвеев // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2018. – № 4. – С. 53-60.

14. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, Parts 1, 2, 3 / L.A. Zadeh // Information Sciences. – 1975. – №8. – P. 43–80, 199–249, 301–357.

15. Diamond, P. Metric space of fuzzy sets / P. Diamond, P. Kloeden // Fuzzy sets and systems. – 1990. – Vol. 35. – P. 241-249.

Оценка успеваемости учащегося, как реализации случайного процесса с помощью дискретных цепей Маркова с нечеткими состояниями

М. Г. Матвеев, email: mgmatveev@yandex.ru
А. Е. Лоскутова, email: anyaa02@yandex.ru
Н. А. Алейникова, email: balbashovan@mail.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Россия

Аннотация. *Целью работы является совершенствование методики оценки успеваемости учащегося, с учетом ее динамики. Предлагается рассматривать успеваемость учащегося в виде стохастической динамической системы с возможно резко меняющимися стохастическими свойствами, измеряемыми характеристиками которой являются выставленные баллы по разным дисциплинам. Методика основывается на переходе от временного ряда баллов к нечетким состояниям успеваемости, так называемым статусам, которые характеризуют успеваемость в стационарном режиме. Переход происходит с помощью нечеткого соответствия. Приводится теорема, позволяющая определить условие существования предельных вероятностей статусов системы и рассчитать их. В работе также проведена численная апробация оценки статусов успеваемости на примере временного ряда баллов учащегося.*

Ключевые слова: *моделирование, временной ряд, дискретная цепь Маркова с нечеткими состояниями, нечеткие множества, статус системы, лингвистическая шкала, нечеткое соответствие, стационарный случайный процесс, эргодический случайный процесс, формула Колмогорова-Чемпена, предельные вероятности.*

Введение.

При оценке знаний учащихся используется балльная шкала, которая является разновидностью качественной порядковой шкалы. При этом для оценки итогов успеваемости и качества знаний ученика рассчитываются либо доли хороших баллов от общего количества оценок, либо средний балл, причем с помощью средней арифметической, которую некорректно применять для порядковых шкал. При этом данные показатели не учитывают динамику успеваемости обучающегося. Возможно, что учащийся получал в начале

© Матвеев М. Г., Лоскутова А. Е., Алейникова Н. А., 2025

хорошие оценки, а затем «скатился к низким баллам». То есть, когда наблюдалась нисходящая тенденция. Среднее арифметическое или доля в этом случае будут такими же, как и в случае, если наблюдалась обратная ситуация или если студент учился стабильно. Кроме того, с помощью статических показателей невозможно отследить момент времени, когда произойдет изменение в тенденции обучения, возможный резкий скачок в оценках обучающегося.

Предлагаемая в данной работе методика оценки успеваемости учащегося, основанная на дискретных марковских цепях с нечеткими состояниями, позволит находить вероятности так называемых «статусов» учащегося, определяющих уровень его успеваемости за время обучения, доли времени, в которые учащийся находился в том или ином статусе. Так же предлагается инструмент, позволяющий понять, что произошло изменение в тенденции успеваемости учащегося.

1. Успеваемость обучающегося, как случайный процесс.

При исследовании успеваемости обучающегося ведется учет его оценок в балльной шкале за определенный период времени (четверть, полугодие, год). При этом на успеваемость может влиять множество случайных факторов, и обучающийся постоянно подвергается управляющим воздействиям, каким–либо образом реагирует на них, на выходе получая те или иные баллы. Успеваемость обучающегося можно рассматривать как стохастическую динамическую систему [1] с возможно резко меняющимися стохастическими свойствами, измеряемыми характеристиками которой являются выставленные баллы по разным дисциплинам. Они за определенный период времени представляют собой реализации случайного процесса (СП) – временные ряды. По измеряемым характеристикам по сути надо оценить состояние системы – успеваемость учащегося. Адекватная оценка текущего состояния такой системы и прогноз изменения состояния чрезвычайно важны при управлении успеваемостью, в частности, при принятии решений о целенаправленном изменении состояния, или при оценке потенциальных возможностей системы.

Как СП, успеваемость учащегося может быть стационарной или нестационарной, характеризоваться переходными процессами, точками разладки и т.д.

СП X_t называют стационарным, если его статистические характеристики не зависят от времени, т. е. статистические характеристики $X_{t+\tau}$ совпадают с соответствующими статистическими характеристиками X_t при любом τ. Различают СП, стационарные в

широком смысле (слабая стационарность) и в узком смысле (сильная стационарность) [2].

СП стационарен в узком смысле, если его n-мерная функция распределения и плотность вероятности при любых n не зависят от временного сдвига.

СП стационарен в широком смысле, если его математическое ожидание постоянно и ковариационная функция зависит только от сдвига τ.

Стационарный процесс может считаться аналогом установившегося режима в детерминированных системах, а нестационарный процесс – аналогом переходного режима при любом случайном входном сигнале.

Стационарный СП считается эргодическим, если любая статистическая характеристика, определяемая усреднением по множеству его реализаций, равна соответствующей характеристике, определяемой усреднением по времени его произвольной достаточно длительной реализации (это позволяет, например, приравнять средние по множеству и по времени) [2]. Единственная реализация эргодического случайного процесса в бесконечном интервале времени полностью определяет весь процесс, что существенно упрощает расчет его статистических характеристик. Желательно, чтобы СП обладал свойством эргодичности, так как в случае оценки успеваемости имеется только один временной ряд баллов. Обозначим его уровни через $x_t, t = \overline{1,T}$.

2. Определение статуса учащегося с помощью нечетких множеств. Переход от временного ряда баллов к лингвистической шкале

При оценивании успеваемости образовательные учреждения пользуются балльной шкалой. Но затем баллы отображают в когнитивную шкалу, обычно содержащую несколько качественных категорий: «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно», «Неудовлетворительно». Будем называть их статусами учащегося по успеваемости. Как правило, чем больше делений содержит балльная шкала, тем больше вопросов возникает, какой диапазон баллов отнести к тому или иному статусу. Между этими статусами нет четких границ. Поэтому для их описания удобно пользоваться инструментом нечетких множеств [3]–[4] и понятием лингвистической шкалы [5]–[6].

В статье [7] были введены следующие понятия, связанные с лингвистической шкалой. Приведем их здесь.

Определение 1. Нормальное нечеткое подмножество с именем $\tilde{S}_i, i=\overline{1,n}$ на универсальном множестве значений признаков $X=\{x\}$ будем называть нечетким состоянием системы и задавать треугольной функцией принадлежности $\mu_{\tilde{S}_i}(x), i=\overline{1,n}$.

Определение 2. Статус системы – это имя лингвистической переменной с заданным конечным терм-множеством состояний $\{\tilde{S}_1,\ldots,\tilde{S}_n\}$, семантика которых определяется с помощью совокупности функций принадлежности $\{\mu_{\tilde{S}_i}(x)\}$.

Определение 3. Лингвистическая шкала состояний системы на универсальном множестве X – это упорядоченное множество нечетких состояний $\tilde{S}_i, i=\overline{1,n}$, таких, что если $i<j$, то состояние $\tilde{S}_i$ менее предпочтительно, чем состояние $\tilde{S}_j$ ($\tilde{S}_i \prec \tilde{S}_j$). Примерный вид лингвистической шкалы показан на рисунке 1.

Определение 4. Нечетким соответствием $C: X \to \{\tilde{S}_i / \mu_{\tilde{S}_i}(x)\}$ будем называть соответствие значения признака $x \in X$ и нечеткого состояния $\tilde{S}_i$, с уровнем соответствия, определяемым значением функции принадлежности μ xi (x). В общем случае нечеткое соответствие неоднозначно, одному значению $x \in X$ может соответствовать несколько нечетких состояний $\tilde{S}_i$ со своими значениями функций принадлежности. Пример неоднозначности нечеткого соответствия показан на рисунке 1.

Таким образом, для оценки успеваемости учащегося необходимо ввести статус с терм-множеством и лингвистическую шкалу, а затем установить нечеткое соответствие между уровнями временного ряда баллов x_t и нечеткими состояниями $\tilde{S}_i$. Для этого подставляют значения $x_t\ (t=\overline{1,n})$ в функции принадлежности $\mu_{\tilde{S}_i}(x)$. Учитываются только те состояния, для которых $\mu_{\tilde{S}_i}(x_t \neq 0)$. В результате происходит переход от временного ряда баллов к последовательности нечетких состояний

$$\tilde{S}_t = (S_{i,t} / \mu_{\tilde{S}_i}(x_t) \neq 0, i=\overline{1,4}). \quad (1)$$

Рассмотрим два соседних момента времени $t-1$ и t. В момент времени $t-1$ система могла находиться в нескольких нечетких

состояниях с разными значениями функции принадлежности, в момент времени t система может оказаться также в нескольких нечетких состояниях. То есть может произойти сразу несколько событий с разными степенями принадлежности, показывающими, что система перешла из одного нечеткого состояния в другое. Эти нечеткие события можно формализовать с помощью нечетких отношений импликации

$$\left(\tilde{S}_{i,t-1} \to \tilde{S}_{j,t}\right) / \mu_{ij}\ ,\ \mu_{ij} = \min\left(\mu_{\tilde{S}_{i,t-1}}; \mu_{\tilde{S}_{j,t}}\right). \qquad (2)$$

Если рассматривать весь временной промежуток, то одни и те же нечеткие импликации могут повторяться с определенной частотой.

Назовем нечетким элементарным случайным событием случайное событие перехода системы из нечеткого состояния $\tilde{S}_i$ в нечеткое состояние $\tilde{S}_j$ в момент времени t со степенью принадлежности μ_{ij}. Обозначим его через $\tilde{A}_{ij}^{э}$.

Введем понятие нечеткого составного события $\tilde{A}_{ij}$ – это событие, которое отображает все однородные переходы $\tilde{S}_i \to \tilde{S}_j$ на заданном промежутке временного ряда, но с различными значениями функций принадлежности:

$$\tilde{A}_{ij} = \left\{\tilde{A}_{ij}^{э,1}, \tilde{A}_{ij}^{э,2}, ..., \tilde{A}_{ij}^{э,k}\right\}. \qquad (3)$$

Тогда по Л. Заде вероятность нечеткого события $\tilde{A}_{ij}$ определяется по формуле:

$$P\left(\tilde{A}_{ij}\right) = \sum_k p\left(\tilde{A}_{ij}^{э,k}\right)\mu_{ij}^k, \qquad (4)$$

где $p\left(\tilde{A}_{ij}^{э,k}\right)$ можно оценить с помощью частости.

В результате получаем матрицу

$$M = \begin{pmatrix} P\left(\tilde{A}_{11}\right) & \dots & P\left(\tilde{A}_{1n}\right) \\ \dots & \dots & \dots \\ P\left(\tilde{A}_{n1}\right) & & P\left(\tilde{A}_{nn}\right) \end{pmatrix}. \qquad (5)$$

Нормируя ее по строкам, получим оценку стохастической матрицы вероятностей случайных нечетких событий – переходов из нечеткого состояния $\tilde{S}_i$ в нечеткое состояние $\tilde{S}_j$.

Матрицу (6) можно было получить другим способом, предложенным в [8].

Если T – длина временного ряда, то максимальное количество импликаций (2) в соседние моменты времени $t-1$ и t (когда мы находим нечеткие соответствия для всех уровней временного ряда) равно $T-1$. Обозначим один шаг перехода через d. Если μ_{ij}^{d} – степень принадлежности в (2) при импликации на шаге d, то матрицу (5) можно рассчитать по формуле

$$M = \frac{1}{T-1}\begin{pmatrix} \sum_{d=1}^{T-1}\mu_{11}^{d} & \dots & \sum_{d=1}^{T-1}\mu_{1n}^{d} \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum_{d=1}^{T-1}\mu_{n1}^{d} & & \sum_{d=1}^{T-1}\mu_{nn}^{d} \end{pmatrix} = \frac{1}{T-1}\sum_{d=1}^{T-1} M^{d}, \qquad (6)$$

где M^{d} – сумма матриц, элементами которых являются значения функции принадлежности импликаций до шага d включительно.

Для придания свойств стохастической матрицы, ее также нормируют по строкам. В дальнейшем, эту матрицу можно использовать либо для предсказания состояний успеваемости учащегося в некоторый момент времени, либо для вычисления стационарных состояний успеваемости учащегося (статусов системы).

3. Расчет предельных вероятностей статусов обучающегося.

Далее полагаем, что матрица (5) или (6) является стохастической матрицей дискретной марковской цепи. Для нее характерно, что вероятность любого состояния в момент времени t зависит только от состояния, в котором система находилась в непосредственно предшествующий момент времени $t-1$ и не зависит от всех предыдущих состояний.

Для предсказания состояний системы на один шаг, можно использовать известную формулу Колмогорова-Чемпена [9], при условии, что в начальный момент времени известно распределение вероятностей состояний

$$p^{t+1} = p^{t}M, \;\; p^{0} = (1;0;...;0)^{T}. \qquad (7)$$

где $p^{t} = (p_1^{t};...;p_n^{t})^{T}$ – вектор, задающий распределение вероятностей нахождения системы в соответствующем состоянии. В случае, если элементы стохастической матрицы M не зависят от шага, то

$$p^{t+1} = p^{0}M^{t}, \;\; p^{0} = (1;0;...;0)^{T}, \qquad (8)$$

где M^{t} – степень t матрицы M.

Из теории цепей Маркова известно, что если матрица M неразложимая и непериодическая, то существует стационарное распределение вероятностей состояний, которое не зависит от начального условия.

Остается открытым вопрос о том, сколько уровней временного ряда потребуется для вычисления элементов матрицы (5) или (6). Одним из ответов на этот вопрос является предположение о существовании неподвижной точки – стационарного распределения вероятностей состояний системы.

Определение 5. Распределение вероятностей состояний $\tilde{p} = (\tilde{p}_1;...;\tilde{p}_n)^T$ называется стационарным, если

$$\tilde{p} = \tilde{p}M. \tag{9}$$

Определение 6. Цепь Маркова называется эргодической, если для любого S_j существует не зависящий от S_i положительный предел $\lim\limits_{t\to\infty} p_{ij}^t = \tilde{p}_j$. Другими словами, строки стохастической матрицы совпадают и состоят из элементов, равных $\tilde{p}_j$, $j = \overline{1,n}$. Эти вероятности называются финальными или предельными.

Известно, что конечная цепь Маркова является эргодической тогда и только тогда, когда она неразложимая и непериодическая. В конечной эргодической цепи Маркова предельные вероятности $\tilde{p}_i = \lim\limits_{t\to\infty} p_i^t$, $i = \overline{1,n}$ образуют стационарное распределение, которое единственно.

Для стохастической матрицы доказана следующая теорема [10].

Теорема. Пусть M – стохастическая матрица. Если выполнено условие $rang\left(I - M\right) = n - 1$, то строка

$$\tilde{p}_1 = \frac{\left(I-M\right)_{11}}{\sum\limits_{l=1}^{n}\left(I-M\right)_{ll}},\ \tilde{p}_2 = \frac{\left(I-M\right)_{22}}{\sum\limits_{l=1}^{n}\left(I-M\right)_{ll}},\ \ldots,\ \tilde{p}_n = \frac{\left(I-M\right)_{nn}}{\sum\limits_{l=1}^{n}\left(I-M\right)_{ll}}, \tag{10}$$

где I – единичная матрица, является единственным неподвижным левым стохастическим вектором для M, то есть единственным стационарным распределением для цепи Маркова с матрицей M.

Теорема позволяет определить условие существования предельных вероятностей состояний системы и рассчитать их. С помощью предельных вероятностей можно оценить доли времени, в которых учащийся находился в том или ином статусе. Поскольку матрица M непосредственно не наблюдаема, а ее элементы оцениваются по временному ряду, то вектор предельных вероятностей состояний

системы является индикатором однородности системы. В случае, если элементы вектора (10), вычисленные на последовательности шагов отличаются на величину, превышающую заданную малую величину ε, то есть их распределение перестает быть стационарным или нарушается условие теоремы, то можно заподозрить, что процесс успеваемости учащегося перестает быть однородным. С помощью последовательности векторов предельных вероятностей можно выделять сегменты, на которых успеваемость учащегося представляла собой однородный процесс, определять переходные периоды.

4. Численная апробация оценки статусов успеваемости.

Пусть универсальное множество оценок представляет собой 50-ти балльную шкалу. Терм-множество статуса успеваемости состоит из следующих нечетких множеств:

$\tilde{S}_1 =$ «Неудовлетворительно», $\tilde{S}_2 =$ «Удовлетворительно»,

$\tilde{S}_3 =$ «Хорошо», $\tilde{S}_4 =$ «Отлично».

Для построения функций принадлежности нечетких переменных $\tilde{S}_i$, $i = \overline{1,4}$, разобьем дискретный интервал [0; 50] на 3 пересекающихся подинтервала и над каждым введем треугольную (или трапециевидную) функцию принадлежности, как показано на рисунке 1. Для определения параметров функций принадлежности статусов можно выделить баллы, которые со степенью принадлежности 0,5 можно отнести к двум соседним статусам, а также баллы, которые со степенью принадлежности 0 или 1 можно отнести к определенному статусу.

Например, определим параметры функции принадлежности для статуса $\tilde{S}_1$. Зададим ее в виде трапециевидной функции. Очевидно, что при $x \le 0$, $\mu_{\tilde{S}_1} = 0$. Значение $x = 20$ баллов можно со степенью принадлежности 0,5 отнести как к статусу $\tilde{S}_1$, так и к статусу $\tilde{S}_2$, а $x = 30$ принадлежит $\tilde{S}_1$ с $\mu_{\tilde{S}_1}(x) = 0$. Тогда из уравнения прямой, проходящей через две точки с заданными координатами, находим

$$\mu_{\tilde{S}_1}(x) = \frac{30 - x}{20}. \qquad (11)$$

При $x = 10$, $\mu_{\tilde{S}_1} = 1$.

Окончательно имеем выражение для функции принадлежности $\mu_{\tilde{S}_1}(x)$

$$\mu_{\tilde{S}_1}(x)=\begin{cases}1, & 0\le x\le 10,\\ \dfrac{30-x}{20}, & 10\le x\le 30,\\ 0, & \text{иначе.}\end{cases} \qquad (12)$$

Аналогично определяем параметры треугольной функции принадлежности для остальных статусов:

$$\mu_{\tilde{S}_2}(x)=\begin{cases}0, & x<15 \text{ или } x>35,\\ \dfrac{x-15}{10}, & 15\le x\le 25,\\ \dfrac{35-x}{10}, & 25<x\le 35.\end{cases} \qquad (13)$$

$$\mu_{\tilde{S}_3}(x)=\begin{cases}0, & x<30 \text{ или } x>50,\\ \dfrac{x-30}{10}, & 30\le x\le 40,\\ \dfrac{50-x}{10}, & 40<x\le 50.\end{cases} \qquad (14)$$

$$\mu_{\tilde{S}_4}(x)=\begin{cases}0, & x<40 \text{ или } x>50,\\ \dfrac{x-40}{10}, & 40\le x\le 50.\end{cases} \qquad (15)$$

Далее установим нечеткое соответствие между уровнями временного ряда x_t и нечеткими состояниями $\tilde{S}_i$. Предположим, что имеется временной ряд баллов длиной 18. Его уровни приведены во втором столбце таблицы 1.

Подставляя x_t в формулы (12)-(15), находим значения $\mu_{\tilde{S}_i}(x_t)$ для каждого $i=\overline{1,4}$, $t=\overline{1,18}$. Значения $\mu_{\tilde{S}_i}(x_t)$ приведены в таблице 1.

Найдем значения μ_{ij}^1 для первой импликации при переходе от $t=1$ к $t=2$. Найденные значения приведены в матрице:

$$M^1 = \begin{pmatrix} 0,4 & 0,9 & 0 & 0 \\ 0,4 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Таблица 1

Нечеткое соответствие между баллами и статусами

t	x_t	$\mu_{\tilde{S}_1}(x_t)$	$\mu_{\tilde{S}_2}(x_t)$	$\mu_{\tilde{S}_3}(x_t)$	$\mu_{\tilde{S}_4}(x_t)$
1	21	0,9	0,6	0	0
2	26	0,4	0,9	0	0
3	36	0	0	0,6	0
4	30	0	0,5	0	0
5	40	0	0	1	0
6	30	0	0,5	0	0
7	40	0	0	1	0
8	36	0	0	0,6	0
9	40	0	0	1	0
10	46	0	0	0,4	0,6
11	10	1	0	0	0
12	25	0,5	1	0	0
13	23	0,7	0,8	0	0
14	30	0	0,5	0	0
15	12	1,8	0	0	0
16	30	0	0,5	0	0
17	35	0	0	0,5	0
18	25	0,5	1	0	0

Для $d = 2$ получим

$$M^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

сумма матриц

$$M^1 + M^2 = \begin{pmatrix} 0,4 & 0,9 & 0,4 & 0 \\ 0,4 & 0,6 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \qquad (18)$$

и т.д.

В результате

$$M = \frac{1}{18-1}\begin{pmatrix} 0,4 & 0,9 & 0,4 & 0 \\ 0,4 & 0,6 & 1,6 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 3,1 \\ 0 & 0 & 2,2 & 1,8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,024 & 0,053 & 0,024 & 0 \\ 0,024 & 0,035 & 0,094 & 0 \\ 0 & 0,059 & 0,235 & 0,182 \\ 0 & 0 & 0,129 & 0,106 \end{pmatrix} \qquad (19)$$

После нормирования по строкам получим

$$M = \begin{pmatrix} 0,235 & 0,529 & 0,235 & 0 \\ 0,154 & 0,231 & 0,615 & 0 \\ 0 & 0,123 & 0,494 & 0,383 \\ 0 & 0 & 0,550 & 0,450 \end{pmatrix} \qquad (20)$$

Ранг матрицы $I - M$ равен 3. Следовательно, существует единственное стационарное распределение. Найдем предельные вероятности по формулам (10). Получим

$$\tilde{p} = (0.019, \quad 0.097, \quad 0.521, \quad 0,363) \qquad (21)$$

Следовательно, 1,9% времени учащийся находился в состоянии «Неудовлетворительно», 9,7% – в состоянии «Удовлетворительно», 52,1% – в состоянии «Хорошо», 36,3% – в состоянии «Отлично». Средний статус учащегося равен 4,23.

Заключение.

В работе предложен математический аппарат оценки успеваемости учащегося, основанный на дискретных марковских цепях с нечеткими состояниями. Это позволит определить вероятности так называемых «статусов» успеваемости учащегося, описывающих уровень его успеваемости за время обучения, доли времени, в которые учащийся находился в том или ином статусе. Так же предлагается подход к определению момента времени, когда произошло изменение в тенденции успеваемости учащегося, то есть момент, когда случайный процесс успеваемости перестает быть однородным.

Список литературы

1. Краснов, А.Ю. Статистические методы в инженерных исследованиях. – СПб.: Университет ИТМО, 2022. – 119 с.

2. Широбоков, М.Г., Лекции по случайным процессам: учебное пособие. – Москва : МФТИ, 2022. – 116 с.

3. Zadeh, L.A. Probability measures and fuzzy events / L.A. Zadeh // Journal of Mathematical Analysis and Applications 23(2), 1968.– P. 421–427

4. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин [и др.]; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 311 с.

5. Леденева, Т. М. Обработка нечеткой информации: учебное пособие / Т. М. Леденева. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2006. – 233 с.

6. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, Parts 1, 2, 3 / L.A. Zadeh // Information Sciences. – 1975. – №8. – P. 43–80, 199–249, 301–357.

7. Матвеев, М. Г. Дискретная однородная цепь Маркова для нечетких состояний / М. Г. Матвеев, Н. А. Алейникова, А. А. Громковский // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2022. – № 4. – С. 119-131.

8. Матвеев, М. Г. Краткосрочное прогнозирование поведения динамической системы с использованием нечетких цепей Маркова / М. Г. Матвеев, А. В. Копытин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2024. – № 3. – С. 102-113.

9. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров.–М.: Высш. шк.–2000.–383 с.

10. Альпин, Ю.А. Неотрицательные матрицы / Ю. А. Альпин. Казань : Казан. ун-т, 2015.–58 с.

Поведение стационарной точки как индикатор поведения временного ряда

М. Г. Матвеев, email: mgmatveev@yandex.ru
Е. В. Рудаков, email: evgenur@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»

Аннотация. *Рассматривается задача экспериментального подтверждения того, что ряд стационарных точек, вычисленных на основе исходного временного ряда с помощью применения дискретной цепи Маркова с нечеткими состояниями, может являться индикатором поведения этого временного ряда и как следствие индикатором разладки в нем.*

Ключевые слова: *временной ряд, структурные разрывы, разладка во временном ряду, случайный шум, авторегрессия первого порядка, нечеткое состояние, дискретная цепь Маркова, стационарная точка, скользящее среднее, корреляция, коэффициент Пирсона.*

Введение

Анализ временных рядов – совокупность математико-статистических методов анализа, предназначенных для выявления структуры временных рядов и для их прогнозирования. Целью анализа является выявление закономерностей изучаемых процессов, построение моделей для прогноза, контроль и управление динамикой развития процесса, выработка сигналов, предупреждающих о нежелательных последствиях [1].

Большинство разработанных методов анализа временных рядов основано на предположении постоянства изучаемого процесса в интервале наблюдения. Однако в реальных системах под воздействием внешней среды и времени закономерности процесса могут изменяться. Такие изменения обычно называются структурными разрывами и отражаются в изменениях коэффициентов параметрический модели процесса и / или параметров распределения случайной составляющей [2]. Соответствующие изменения во временном ряду наблюдений, описывающем изучаемый процесс, принято называть моментами разладки временного ряда [3, 4].

Алгоритмам выделения моментов разладки временных рядов уделяется большое внимание аналитиков в виду следующих причин [2]:

© Матвеев М. Г., Рудаков Е. В., 2025

- изменяется параметрическая модель системы; если изменения в параметрах модели игнорируются, то оценки параметров становятся незначимыми и прогнозы теряют точность;

- усложняется процедура проверки критериев, предназначенных для определения типа процесса;

- усложняется процедура проверки наличия коинтеграций.

Решения задач обнаружения структурных разрывов и соответствующих им моментов разладки временного ряда могут быть построены на апостериорных процедурах, направленных на обнаружения структурных изменений, после того как наблюдения над процессом закончены, и на процедурах в режиме реального времени, обнаруживающих изменения в темпе получения текущих наблюдений [2].

Апостериорные методы подразделяются на:

алгоритмы, работающие в условиях отсутствия предположений о модели процесса, например, критерий Колмогорова-Смирнова [5];

1. алгоритмы, использующие данные о известном до момента изменения распределении, например критерии согласия χ -квадрат, Колмогорова-Смирнова [5, 6];
2. алгоритмы, базирующиеся, на предположении, что ряд описывается регрессионной или авторегрессионной моделью:
   - проверка на изменение коэффициентов регрессии с использованием F -статистик [7, 8, 9];
   - определение границ интервала однородности, на котором модель процесса можно считать постоянной [10, 11];
   - проверка на наличие обобщенных изменений, основанная на анализе остатков (CUSUM и MOSUM тесты) [12, 13].

Для обнаружения изменения свойств процесса по текущим наблюдениям в режиме реального времени применяются методы последовательного анализа [14, 15], в основе которых в большинстве случаев лежит процедура последовательной проверки гипотез о плотности распределения процесса.

В данной работе рассматривается альтернативный подход [16, 18, 19] для обнаружения изменения свойств процесса и поиска моментов разладки временного ряда, основанный на переходе из исходного пространства наблюдаемых числовых переменных в другое пространство, с более удобными свойствами для решения задачи обнаружения структурных разрывов. В качестве такого пространства выбирается пространство нечетких состояний системы, образующее временной ряд нечетких категориальных переменных. При таком

подходе можно предложить новые методы оценки разладки временных рядов.

Одним из таких методов может является применение нечетких цепей Маркова [16-19]. Основные этапы алгоритма, лежащего в основе этого метода, описываются следующим образом. Динамика процесса наблюдается в виде числового временного ряда в моменты времени $t = 0, 1, 2, ...$ и классифицируется в одно из n нечетких состояний. По этим состояниям строится цепь Маркова. В каждый дискретный момент времени для соответствующей переходной матрицы цепи рассчитывается вектор π_t, описывающий распределение вероятностей нечетких состояний системы в этот момент времени. Образующаяся при этом последовательность рассчитанных векторов, которую в дальнейшем будем называть рядом стационарных точек, может использоваться как индикатор поведения исходного временного ряда. В предлагаемом исследовании ставится задача экспериментального подтверждения этого утверждения на примере модели временного ряда, описываемой уравнением авторегрессии первого порядка со структурными разрывами в виде изменения параметров авторегрессии в заданные моменты времени, для упрощенной системы с двумя нечеткими состояниями.

2. Основные понятия дискретной цепи Маркова с нечеткими состояниями

Нечетким состоянием $\widetilde{A}$ системы или рассматриваемого процесса, описываемого временным рядом, будем называть нечеткое множество A, представляющее собой совокупность пар, составленных из значений элементов x временного ряда x_t и соответствующих степеней принадлежности $\mu_A(x)$, задаваемых функциями принадлежности. Уравнение дискретной цепи Маркова с нечеткими состояниями в матричном виде записывается следующим образом $p_{t+1} = M^T p_t, t = 0;1;2;...; p_0 = (1;0;...;0)$, где t – дискретное время; $p_t = (p_{\widetilde{A}_1};...; p_{\widetilde{A}_n})_t^T$ – вектор, задающий распределение вероятностей нечетких состояний в момент времени t; n – число нечетких состояний; $M = \left\| p_{ij} \right\|$ – стохастическая переходная матрица размера $n \times n$ с элементами p_{ij}, представляющими вероятности перехода системы из нечеткого состояния i в нечеткое состояние j. Матрица M называется однородной, так же как и цепь Маркова в этом случае, если переходные вероятности не зависят от времени.

Однородная цепь Маркова описывает динамику изменения распределения вероятностей нечетких состояний $p_{\tilde{A}_i t}$. При $t \to \infty$ вектор p_t становится стационарным распределением, которое обычно обозначают как вектор π. Стационарное распределение может быть единственным при выполнении условия неразложимости матрицы M. В вероятностном пространстве стационарное распределение образует стационарную (неподвижную) точку отображения M. Это обеспечивает однозначное соответствие между значениями матрицы M и координатами стационарной точки π. Как будет показано экспериментальным путем ниже, поведение стационарной точки, вычисленной на основе исходного временного ряда, может служить индикатором поведения этого ряда и, как следствие, индикатором разладки в нем.

При заданной матрице M координаты стационарной точки π можно получить как решение системы однородных уравнений:

$$\pi = M^T \pi. \tag{2}$$

Для получения нетривиального решения одно из уравнений (2) следует заменить на уравнение $\sum_{i=1}^{n} p_{\tilde{A}_i t} = \sum_{i=1}^{n} \pi_i = 1.$

Моменту разладки соответствует изменение элементов матрицы M, но априори матрица M неизвестна, а изменение ее элементов не наблюдаемо. Следовательно, для расчёта стационарной точки и определения моментов разладки надо уметь идентифицировать переходную матрицу в режиме реального времени.

Одним из подходов для определения переходной матрицы, применяемых на практике и подробно описанном в работах [16-19], является алгоритм рекуррентной статистической оценки, в котором при поступлении нового значения временного ряда происходит пересчет переходных вероятностей матрицы M в соответствии со следующей формулой:

$$M = \frac{1}{d}\sum_{t=1}^{d} M^t = \frac{1}{d}\begin{pmatrix} \sum_{t=1}^{d} \mu_{11}^t & \sum_{t=1}^{d} \mu_{12}^t \\ \sum_{t=1}^{d} \mu_{21}^t & \sum_{t=1}^{d} \mu_{22}^t \end{pmatrix}, \tag{3}$$

где вес $\frac{1}{d} = p_{ij}^t$ – статистическая оценка вероятности случайного нечеткого события перехода из нечеткого состояния i в нечеткое состояние j в момент времени t, μ_{ij}^t – значения функций принадлежности случайных нечетких событий переходов из состояния i в состояния j, d – момент времени, при котором можно считать, что набранная статистика переходов репрезентативна.

Для каждой матрицы M, вычисленной на соответствующем шаге, путем решения системы уравнений (2) рассчитывается соответствующий вектор $\pi_t = (p_1, p_2)_t = (p_1, 1 - p_1)_t$. Здесь для упрощения показан вектор, который имеет две составляющие для случая двух нечетких состояний системы. Образующуюся последовательность π_t будем называть рядом стационарных точек, вычисленным на основе исходного временного ряда. Дополнительно введем понятие однородного сегмента для ряда стационарных точек. Участок ряда $[\pi_k; \pi_{k+d})$ будем называть однородным сегментом, если для заданного малого порога нарушения однородности $\Delta > 0$ и любого $t \in [k; k+d)$ выполняется условие $|MA - p_{1t}| \le \Delta$, где MA(moving average) – скользящее среднее значений первой компоненты p_{1t} стационарной точки π_t в момент времени t с заданной длинной окна w, рассчитанное на начальном участке рассматриваемого сегмента $[\pi_k; \pi_{k+w}] \in [\pi_k; \pi_{k+d})$. После окончания очередного однородного сегмента в момент времени t_s построение цепи Маркова, а так же переходной матрицы M и соответственно расчёт следующего значения стационарной точки осуществляется заново со значений временного ряда $x_{t_s}, x_{t_s+1}, \ldots$. Можно считать, что в пределах однородного сегмента процесс изменения состояния так же практически однороден и соответствует переходному процессу цепи Маркова $P_{t+1} = M^T P_t$ с однородной матрицей M.

Далее покажем экспериментально, что ряд стационарных точек, вычисленных на основе исходного временного ряда, может являться индикатором его поведения и, как следствие, индикатором разладки в нем.

3. Модель исходного временного ряда

Рассмотрим временной ряда, задаваемый моделью авторегрессии первого порядка $x_t = ax_{t-1} + b + \varepsilon_t$ со следующими фиксированными начальными коэффициентами $x_t = 0,99x_{t-1} + 6 + \varepsilon_t$. Случайный шум ε_t имеет нормальное распределение с математическим ожиданием $M[\varepsilon_t] = 0$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma[\varepsilon_t] = 3$.

Для моделирования разладки в заданном временном ряду будем изменять коэффициент a в определенные моменты времени (моменты разладки). Введем, например, следующие четыре точки разладки:

1. $t_1 = 400$, $a = 0,9$;
2. $t_2 = 800$, $a = 0,97$;
3. $t_3 = 1200$, $a = 0,85$;
4. $t_4 = 1600$, $a = 0,98$.

График значений получившегося временного ряда при начальном значении ряда $x_0 = 1000$ можно увидеть на рис. 1. На графике четко видны точки разладки, когда поведение временного ряда меняется из-за изменений коэффициента a.

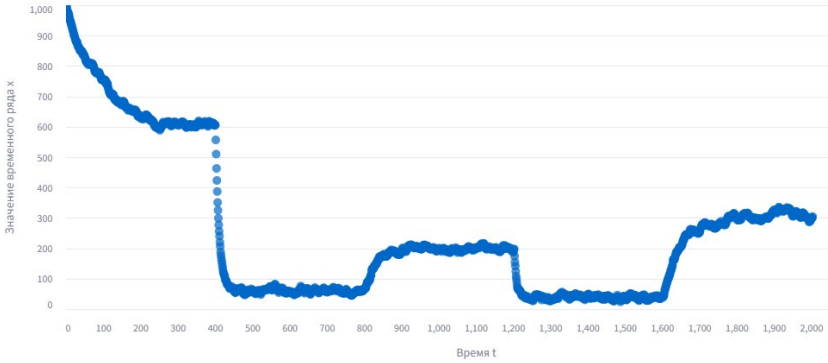


Рис. 2. График значений временного ряда, задаваемого моделью авторегрессии первого порядка с изменяющимся коэффициентом a в моменты времени $t_1 = 400$, $t_2 = 800$, $t_3 = 1200$, $t_4 = 1600$

4. Расчёт стационарных точек для заданной модели временного ряда

Проведем расчет стационарных точек для модели временного ряда с изменяющимися коэффициентами, рассмотренной в предыдущем

разделе, на основе методики применения цепей Маркова для нечетких состояний [16, 18, 19].

Отметим, что для построения цепи Маркова будем рассматривать 2 нечетких состояния $\widetilde{A}_1$ и $\widetilde{A}_2$, с функциями принадлежности μ для значений исходного временного ряда, изображёнными в виде пересекающихся прямых на рис. 2, где $x_0 = 1000$, $a = 0,99$ (максимальное значение коэффициента), $b = 6$, $\sigma = 3$ по условиям рассматриваемой модели временного ряда.

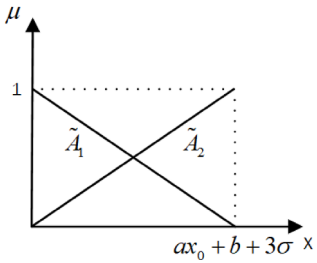


Рис. 3. График функций принадлежности двух нечетких состояний для значений исходного временного ряда

Вычислим ряд стационарных точек. При определение переходной матрицы будем использовать рекуррентный статистический подход согласно методике, описанной в предыдущем разделе данной работы. На рис. 3 представлен график значений первой компоненты p_{1t} ряда стационарных точек π_t и однородные сегменты этого ряда. При расчёте были заданы следующие значения:

- порог нарушения однородности сегмента $\Delta = 0,11$;

- минимальная длина однородного сегмента, при равенстве или превышении которой сегменте ряда рассматривался как однородный, выбиралась равной длине окна скользящего среднего $w = 8$.

Как можно заметить, представленный график очень похож на график исходного временного ряда если его зеркально отразить по вертикали.

Далее, чтобы показать, что построенный ряд стационарных точек может выступать в качестве индикатора поведения исходного временного ряда, рассмотрим, как они коррелируют между собой.

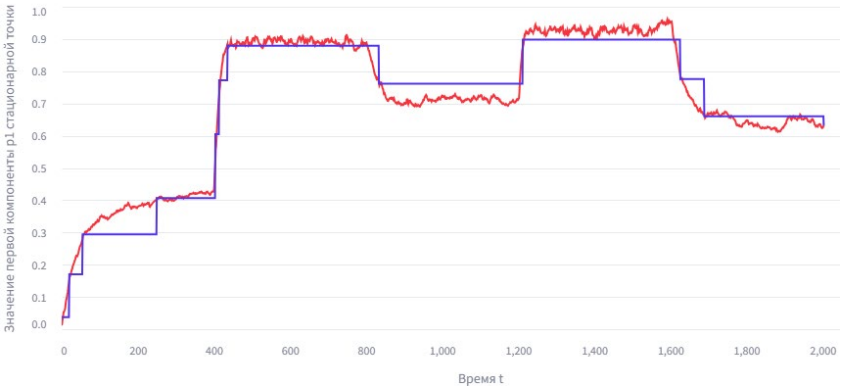


Рис. 4. График значений первой компоненты p_{1t} (красная линия) ряда стационарных точек π_t и однородные сегменты этого ряда (синяя линия)

5. Корреляция исходного временного ряда и ряда значений первой компоненты рассчитанных стационарных точек

Построим диаграмму рассеяния чтобы визуально оценить корреляцию между значениями исходного временного ряда и значениями первой компоненты ряда стационарных точек (см. рис. 4).

Исходя из полученного графика можно сделать вывод, что между значениями двух рядов есть сильная отрицательная корреляция, т.е. с уменьшением значений исходного временного ряда значения первой компоненты p_{1t} ряда стационарных точек π_t растут. При этом поскольку вторая компонента p_{2t} ряда стационарных точек π_t рассчитывается как $1-p_{1t}$, то очевидно что случае p_{2t} и исходного временного ряда корреляция будет сильной положительной.

Для математического подкрепления отмеченной визуально корреляции можно рассчитать коэффициент Пирсона, который представляет собой безразмерный индекс, изменяющийся в интервале $[-1;1]$ и отражающий степень линейной зависимости между двумя множествами данных.

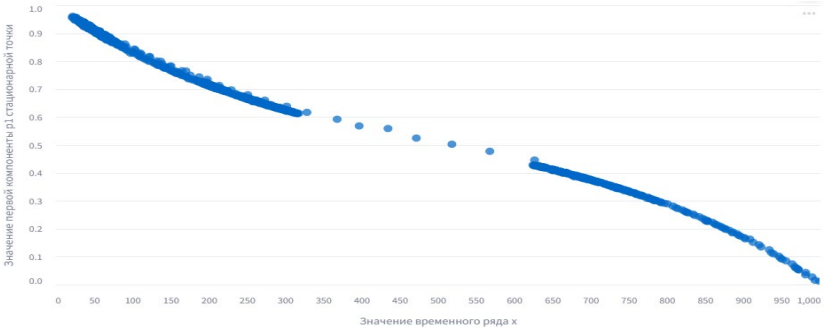


Рис. 5. Диаграмма рассеяния значений первой компоненты p_{1t} ряда стационарных точек π_t относительно значений исходного временного ряда x_t

Формула расчёта коэффициента корреляции Пирсона для выборок и с учетом введенных обозначений будет выглядеть следующим образом:

$$r_{xp_1} = \frac{\sum_{t=0}^{n}\left(x_t - \overline{x}\right)\left(p_{1t} - \overline{p_1}\right)}{\sqrt{\sum_{t=0}^{n}\left(x_t - \overline{x}\right)^2 \sum_{t=0}^{n}\left(p_{1t} - \overline{p_1}\right)^2}}, \quad (4)$$

где x_t, p_{1t} - соответствующие значения исходного временного ряда и первой компоненты ряда стационарных точек в моменты времени t, n – размер выборки (2000 элементов в нашем случае), $\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} x_t$ – выборочное среднее значений исходного временного ряда (аналогично для $\overline{p_1}$).

С использованием этой формулы рассчитанное значение коэффициента Пирсона для исходного временного ряда и ряда первых компонент стационарных точек равно $r_{xp_1} = -0{,}985$, что показывает сильную отрицательную корреляцию и соответствует диаграмме рассеяния, изображенной на рисунке 4.

Заключение

В работе экспериментальным путем на примере временного ряда, задаваемого моделью авторегрессии первого порядка со случайным нормально распределенным шумом, а так же со структурными

изменениями моделируемыми изменениями коэффициентов авторегресси в заданные моменты времени, было показано что ряд стационарных точек, построенный на основе исходного временного ряда, с помощью применения цепи Маркова с нечеткими состояниями может являться индикатором его поведения и как следствие индикатором разладки в нем. Введённое понятнее однородных сегментов ряда стационарных точек позволяет выполнять краткосрочное прогнозирование поведения рассматриваемого процесса, описываемого исходным временным рядом, а так же может использоваться для контроля и управление динамикой развития процесса и выработки сигналов, предупреждающих о нежелательных последствиях.

Список литературы

1. Мишулина, О. А. Статистический анализ и обработка временных рядов : учеб. пособие для студентов вузов / О. А. Мишулина – М.: МИФИ, 2004. – 178 с.
2. Гребенюк, Е. А. Методы анализа нестационарных временных рядов с неявными изменениями свойств // Автоматика и телемеханика. – 2005. – № 12. – С. 3–30.
3. Perron, P. Further Evidence on Breaking Trend Functions in Macroeconomic Variables // Journal of Econometrics. – 1997. – V.80. – P. 355–385.
4. Канторович, Г. Г. Лекции: Анализ временных рядов // Экономический журнал Высшей школы экономики. – Москва, 2002. Т. 6. № 3. – С. 379–401.
5. Боровков, А. А. Математическая статистика : учебник для вузов – М. : Наука, 1984. – 472 с.
6. Уилкс, С. Математическая статистика : учебник для вузов – М. : Наука, 1967. – 633 с.
7. Chow, G. C. A comparison of the information and posterior probability criteria for model selection // J. Econom. – 1981. – V. 16. – P. 21-33.
8. Andrews, D. W. K. Tests for Parameter Instability and Structural Change with Unknown Change Point // Econometria. – 1993. – V. 61. – P. 821-856.
9. Hansen, B. E. Approximate asymptotic p values for structural-change tests // J. Business & Econom. Statist. – 1997. – V. 15.- P. 60-67.
10. Andrews, D. W. K. Optimal Tests When a Nuisance Parameter is Present Only Under the Alternative / D. W. K. Andrews, W. Ploberger // Econometria. – 1994. – V. 62. – P. 1383-1414.

11. Bai, J. Estimating and Testing Linear Models With Multipal Structural Changes / J. Bai, P. Perron // Econometria. – 1998. – V. 66. P. 47-78.

12. Chong, T. T. L. Partial Parameter Consistency in a Misspecified Structural Change Model // Econom. Lett. – 1995. – V. 49. – P. 351-357.

13. Lepski, O. Optimal pointwise adaptive methods in nonparametric estimation / O. Lepski V. Spokoiny // Ann. Statist. – 1997. – V. 25. – P. 2512-2546.

14. Chu, C. S. j. Monitoring structural change / C. S. j. Chu, M. Stinchcombe , H. White // Econometria. – 1996. – V. 64. – P. 1045-1065.

15. Вальд, А. Последовательный анализ : учебник для вузов – М. : ФМ, 1960. – 328 с.

16. Матвеев, М. Г. Дискретная однородная цепь Маркова для нечетких состояний / М. Г. Матвеев, Н. А. Алейникова, А. А. Громковский // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2022. – № 4. – С. 119–131.

17. Pardo M. J., Fuente D. Design of a fuzzy finite capacity queuing model based on the degree of customer satisfaction: Analysis and fuzzy optimization // Fuzzy Sets and Systems. 2008. V. 159. P. 3313–3332.

18. Matveev, M., Korotkov V. Fuzzy Risk States Assessment Using Markov Chains / M. Matveev, V. Korotkov // Communications in Computer and Information Science. Springer. – 2023. – V. 1767. – P. 15–26.

19. Матвеев, М. Г. Разработка и исследование статистических моделей нестационарного многомерного временного ряда атмосферных температур в условиях неоднородности / М. Г. Матвеев, Е. А. Сирота // Информационные технологии. – 2014. – № 12. – С. 20–24.

Разработка и исследование подходов к моделированию временных рядов с изменяющимися свойствами

М. Г. Матвеев, email: mgmatveev@yandex.ru
Е. А. Сирота, email: atoris@list.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной работе рассматриваются известные подходы к моделированию временных рядов с неявными изменениями свойств. Дается их краткий обзор, обсуждаются достоинства и недостатки. В работе также предлагается новый подход к построению модели авторегрессии с переменными коэффициентами, учитывающими неявные изменения свойств. Моделирование такого временного ряда реализовано на базе нечетких цепей Маркова. Методика основывается на преобразовании числового временного ряда в случайную последовательность категориальных нечетких состояний. Рассматриваемый подход позволяет решить общенаучную проблему моделирования временного ряда с неявными изменениями свойств и значительно повысить качество модели по сравнению с известными.*

Ключевые слова: *временные ряды, моделирование, структурные разрывы, неявные изменения свойств, цепь Маркова, прогнозирование, нечеткие состояния, авторегрессия.*

Введение

Существует проблема моделирования динамических процессов с неявными изменениями свойств или, другими словами, учета ненаблюдаемых изменений свойств.

При изменении свойств процесса происходит смена режима функционирования, меняются параметры модели поведения процесса или параметры распределения случайной составляющей. Говорят, что произошел структурный разрыв, представляющих собой, как правило, ненаблюдаемые изменения закономерностей поведения или свойств процесса. Понятие структурного разрыва или разладки процесса можно определять различным образом. Мы будем придерживаться определения, данного в работе [1], в соответствии с которым структурный разрыв – это изменение параметров модели поведения процесса или параметров распределения случайной составляющей.

В нашем исследовании рассматривается структурный разрыв, отображающийся резким изменением значений коэффициентов

© Матвеев М. Г., Сирота Е. А., 2025

авторегрессионной модели многомерного нестационарного временного ряда (примером могут служить модели с метеорологическими данными).

Процессы с такими свойствами и соответствующие временные ряды в дальнейшем будем называть неоднородными. Рассмотрим известные подходы к моделированию таких динамических процессов.

1. Адаптивные подходы

Следует отметить, что рассматриваемые проблемы разладки могли бы решаться известными адаптивными методами [2]. Однако все эти методы предполагают медленное изменение параметров модели, что в практике структурных разрывов может не выполняться. Например, мы не можем идти по пути применения рекуррентного метода наименьших квадратов, поскольку он основывается на независимости от времени неизвестных параметров и лишь допускается его использование в приложениях, где эти параметры меняются достаточно медленно [3].

В связи с этим здесь можно говорить о той же общей проблеме, свойственной для всех адаптивных методах, а именно возможном ухудшении сходимости при долгосрочном прогнозировании, а также в том случае, когда статистические свойства системы меняются медленно. В нашем исследование, подчеркнем еще раз, рассматривается структурный разрыв, отображающийся резким изменением модели динамического процесса.

Адаптивные модели временных рядов подробно рассмотрены в работах Лукашина [2]. В условиях неопределенности и изменяющихся условиях адаптивные модели повышают качество прогноза по сравнению с классическими подходами. Отличие адаптивных моделей от других состоит в том, что они отражают текущие свойства ряда и способны непрерывно учитывать эволюцию динамических характеристик изучаемого процесса. То есть по сути мы строим самокорректирующиеся и самонастраивающиеся модели, которые способны отражать изменяющиеся во времени условия и учитывать информационную ценность различных членов временной последовательности. Именно поэтому адаптивные модели предназначены прежде всего для краткосрочного прогнозирования. Точность прогнозирования заметно падает при долгосрочном прогнозировании. В частности, из-за изменений параметров.

Более сложная задача состоит в рассмотрении техники анализа не изолированного временного ряда, а такого ряда, коэффициенты которого не являются неизменными во времени.

Оценки же коэффициентов отражают характер связи переменных лишь в среднем по выборке, поэтому трудно ожидать, что они приведут

к хорошим даже краткосрочным прогнозам. Таким образом, множественная регрессия с постоянными коэффициентами имеет ограниченное применение. В работах Лукашина предлагается способ адаптации коэффициентов множественной регрессии. Но, об изменении параметров все же говорится с точки зрения адаптации, а не зависимости от времени.

Многомерный ряд – причина потенциальной (псевдо) мультиколлинеарности. И еще одна серьезная проблема, связанная с проблемой мультиколлинеарности. Сильная мультиколлинеарность часто возникает при введении в уравнение лаговых переменных. Проблема мультиколлинеарности, неразрывно связанная с проблемой оценивания параметров уравнения, рассмотрена во многих серьезных работах, посвященных регрессионному анализу. В случае методов, представленных в работах Лукашина мультиколлинеарность проявляется в ухудшении процесса адаптации. Это приводит к тому, что оценки параметров могут значительно искажать представление о реальной структуре объекта в текущий момент времени.

Проблему мультиколлинеарности мы тоже рассматриваем в наших работах.

В области адаптивных систем управления основное внимание уделяется методам текущей идентификации в реальном времени. Для идентификации в реальном времени созданы рекуррентные методы оценивания параметров стационарных и нестационарных случайных сигналов. В работе Р. Изермана приводится обобщение свойств рекуррентных алгоритмов идентификации [4], этих алгоритмов достаточно много. При небольшой продолжительности измерений в шуме высокой интенсивности все эти методы обеспечивают примерно одинаковое качество оценок. Ввиду этого предпочтение отдают все-таки РМНК, поскольку он проще других методов идентификации и гарантирует надежную сходимость оценок. Однако РМНК применим при малых отношениях интенсивности шума к полезному сигналу и при малой скорости изменений параметров, в противном случае дает сильно смещенные оценки параметров. Аналогичные проблемы могут быть указаны и для рекуррентных нейронных сетей.

2. Комбинированные подходы, основанные на выделении однородных сегментов

Среди наиболее общих подходов моделирования временных рядов, не относящихся к адаптивным методам, выделяют авторегрессионные модели (AR-модели), модели скользящего среднего (MA-модели), модель ARIMA, SARIMA, методы экстраполяции (к ним относятся метод скользящего среднего, экспоненциальное сглаживание и метод

Хольта-Винтерса), а также другие информационные модели с методами ML машинного обучения.

При идентификации параметров указанных моделей часто применяются пассивные методы идентификации, основанные на статистической обработке наблюдаемых значений переменных функционирующего объекта.

То есть в большинстве известных работ проблему ненаблюдаемого изменения свойств не рассматривают.

Для учета структурных разрывов требуется обнаружение моментов разладки неоднородного временного ряда и выделение сегментов однородной статистики. При этом разладка может происходить не одномоментно, а в виде переходного процесса, что существенно усложняет не только наблюдаемость структурных разрывов, но построение однородных сегментов с четкими границами.

Этой задаче посвящено множество исследований, ориентированных на различные проявления разладки: изменение вероятностного распределения уровней ряда или параметров этих распределений, структурных или параметрических изменений моделирующих зависимостей. Результаты этих исследований можно найти, например, в работах [5, 6]. Приведем краткий анализ этих результатов.

Решение задач обнаружения структурных разрывов могут быть построены на апостериорных процедурах с целью обнаружения структурных изменений, после того, как наблюдения над процессом закончены. Эти методы основаны на формулировании и проверке статистических гипотез [7]. Если возможный момент разладки или момент изменения состояний процесса известен, то для рассматриваемого временного ряда фиксированной длины производится проверка гипотезы о том, что изменения свойств отсутствуют против гипотезы о наличии изменений в известный момент. Если предположения о модели процесса отсутствуют, то проверка наличия изменений проводится на базе тестов сравнения двух выборок. Например, с использованием теста Колмогорова-Смирнова или непараметрических тестов [8]. Ограничением применении этих методов является условие стационарности анализируемого временного ряда.

В случае, когда ряд представлен моделью авторегрессии, то выделяют три основных подхода для проверки существования моментов разладки: проверку на изменение коэффициентов модели на базе F-статистик, например, критерий Чоу и другие, определение границ интервала однородности [8] и, наконец, проверка на наличие обобщенных изменений, основанная на анализе остатков – CUSUM и

MOSUM тесты [1]. Все они используются для одномерных временных рядов.

Альтернативой апостериорного подхода является технический анализ – реализация процедур, обнаруживающих изменения поведения ряда, в процессе наблюдения за реальными данными. К методам технического анализа относят традиционный технический подход [9] и развивающийся в последнее время анализ на основе теории нелинейных динамических систем [6, 9]. Технический анализ исследует некоторую совокупность индикаторов или паттернов поведения ряда [9]. Основной проблемой технического анализа является эвристический характер рассматриваемых индикаторов разладки. Связь изменений наблюдаемых индикаторов с изменениями поведения ряда основывается только на эмпирических данных без теоретического обоснования, что может снижать достоверность анализируемых изменений.

В случае многомерных временных рядов построение прогнозных моделей нестационарных временных рядов может основываться на идее классификации или кластеризации всего массива динамической информации по некоторым признакам, например, классификации по значению градиента наблюдаемой величины [10].

Таким образом, построение модели авторегрессии с переменными коэффициентами, отображающими структурные разрывы многомерного процесса должно реализовываться по следующей схеме. Если тем или иным методом удалось получить информацию о сегментах однородной статистики, пусть даже с не вполне определенными границами, то в рамках таких сегментов можно строить модели с постоянными коэффициентами, используя известные методы параметрической идентификации. Затем на основе методов агрегирования моделей с постоянными коэффициентами можно получить искомую модель с переменными коэффициентами.

В данной работе предлагается подход к построению модели авторегрессии с переменными коэффициентами, учитывающими структурные разрывы. Моделирования временного ряда со структурными разрывами реализовано на базе нечетких цепей Маркова. Методика основывается на преобразовании числового временного ряда в случайную последовательность категориальных нечетких состояний. Рассматриваемый подход позволяет решить общенаучную проблему моделирования временного ряда с неявными изменениями свойств и значительно повысить качество модели по сравнению с известными. В качестве моделируемых данных использовались данные атмосферных температур. Численный эксперимент на примере этих данных показал

лучшее качество предлагаемой модели, а также строго обоснованный подход выделения участков, разделенных моментами разладки.

Изложим кратко суть нашего подхода.

3. Моделирование временного ряда с неявными изменениями свойств на базе нечетких цепей Маркова

Для упрощения рассуждений, без потери общности, будем рассматривать самую простую авторегрессионную многомерную модель с линейной пространственной структурой и переменными коэффициентам

$$x_i^{t+1} = \alpha_1^t x_{i-1}^t + \alpha_2^t x_i^t + \alpha_3^t x_{i+1}^t + \xi_i^{t+1},\ i = 0;1;...;n;\quad t = 0;1;... \tag{1}$$

Здесь $x_{i-1}^t; x_i^t; x_{i+1}^t$ – наблюдаемые величины; i, t – индексы пространственного узла и дискретного времени соответственно; ξ_i^t – вектор, учитывающий воздействие случайных факторов. Модель (1) отображает многомерный марковский процесс, который определяется так же как и одномерный, с заменой случайного скаляра x_i^t на вектор – $(x_{i-1}^t; x_i^t; x_{i+1}^t)$. Задача – получать в текущем времени значения оценок $a^t = (a_1^t; a_2^t; a_3^t)$ коэффициентов модели (1).

Предварительно рассмотрим более простую задачу – как обнаружить в текущем времени изменения коэффициентов авторегрессии под воздействием ненаблюдаемых внешних или внутренних факторов. Решение этой задачи можно свести к построению индикатора изменения коэффициентов. Представим уравнение (1) в операторной форме

$$\begin{pmatrix} x_{i-1}^t \\ x_i^{t+1} \\ x_{i+1}^t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ a_1^t & a_2^t & a_3^t \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_{i-1}^t \\ x_i^t \\ x_{i+1}^t \end{pmatrix} = x^{t+1} = A \cdot x^t + \xi^t. \tag{2}$$

Мы будем исходить из того, что большинство реальных процессов устойчивы, т.е. в каждый момент t существует гипотетическое стационарное состояние, определяемое выражением $Ax^t = x^t$, которое достигается при $t \to \infty$ и может быть обозначено как

$$A\pi = \pi \tag{3}$$

Здесь π – гипотетический стационарный вектор или собственный вектор матрицы A, соответствующий собственному числу $\lambda = 1$. Если решение однородного уравнения (3) обеспечивает единственность

вектора π, то его можно рассматривать как потенциальный искомый индикатор.

Условия единственности обеспечивается теоремой Фробениуса-Перрона [11], в соответствии с которой матрица A должна быть неотрицательной и неразложимой. Легко видеть, что модель (2) этим условиям не отвечает, в частности в (2) очевидно не выполняется условие неразложимости. В этой связи предлагается перевести временной ряд из числового пространства в пространство категориальных состояний, описываемых дискретной цепью Маркова, где стохастическая матрица полностью отвечает условиям Фробениуса-Перрона [11]. Для перехода из одного пространства в другое необходимо разработать преобразование, которое обеспечивало бы соответствие коэффициентов a^t и неподвижной точки дискретной цепи Маркова, которую будем рассматривать как индикатор разладки исходного временного ряда.

Для построения указанного преобразования необходимо ввести ряд основных определений и понятий дискретной модели цепи Маркова с нечеткими состояниями, которые подробно приводятся в [12].

Классическая модель дискретной цепи Маркова имеет вид

$$P^{t+1} = M \cdot P^t, \tag{4}$$

где P^t – вектор вероятностей состояний в момент времени t, M - стохастическая матрица, т.е. матрица вероятностей переходов состояний. Если вероятности переходов не меняются во времени, то матрица M и процесс являются однородными.

Таким образом, дискретная модель цепи Маркова с нечеткими состояниями может быть описана следующим образом:

$$\begin{pmatrix} P^{t+1}_{\tilde{x}_1} \\ \dots \\ P^{t+1}_{\tilde{x}_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{n1} \\ & \dots & \\ p_{1n} & \dots & p_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P^t_{\tilde{x}_1} \\ \dots \\ P^t_{\tilde{x}_n} \end{pmatrix}, \quad \sum_{i=1}^{n} P^t_{\tilde{x}_i} = 1, \quad \sum_{i=1}^{n} p_{ij} = 1, \quad i = 1,2,...,n, \tag{5}$$

или в матричном виде

$P^{t+1} = M \cdot P^t$.

Здесь вектор P^t – распределение вероятностей нечетких состояний $\tilde{x}_i$ в момент времени t, M – переходная, стохастическая матрица, p_{ij} – вероятности перехода системы из состояния $\tilde{x}_i$ в состояние $\tilde{x}_j$.

Однородная цепь Маркова (2) описывает динамику изменения распределения вероятностей нечетких состояний, $P^t_{\tilde{x}_i}$. При $t \to \infty$

вектор P^t становится стационарным распределением, которое обычно обозначают как вектор π. Стационарное распределение π будет единственным при $M > 0$. В вероятностном пространстве стационарное распределение образует неподвижную точку отображения M.
Вектор π для заданной матрицы M, однозначно вычисляется решением системы линейных уравнений

$$(M - I)\pi = 0, \tag{6}$$

где I - единичная матрица; с заменой одного уравнения на уравнение нормировки

$$\pi_1 + \pi_2 + ... + \pi_n = 1. \tag{7}$$

Формально, полученная модель с нечеткими состояниями, ничем не отличается от классического вида (1). Однако, в отличие от классического состояния, нечеткое состояние не наблюдаемо и возникает проблема оценки элементов переходной матрицы.

Известные методы не учитывают возможность разладки. Мы предлагаем свой рекуррентный алгоритм.

Для определения вероятностей перехода необходимы специальные методы. Распространенным подходом к вычислению вероятностей перехода матрицы является метод, основанный на концепции условной вероятности нечеткого события. Этот метод широко используется в публикациях, связанных с исследованиями, основанными на марковской модели с нечеткими состояниями. В работе М. Пардо приведены обоснование и численное тестирование этого метода. Однако для целей нашего исследования этот метод не подходит, прежде всего потому, что он не учитывает возможность беспорядка в статистических свойствах.

Для целей данной работы более целесообразно проводить оценку в режиме реального времени, когда при получении нового значения уровня временного ряда происходит повторный пересчет вероятностей перехода.

Алгоритм выявления участков однородности основывается на итерационном вычислении неподвижной точки π, с использованием выражений (6, 7)

$$\pi^{t+1} = \pi^t \left(\frac{1}{t+1}\left(\sum_{t=1}^{t} M^t + M^{t+1}\right)\right). \tag{8}$$

Таким образом, добавление каждого нового значения исходного временного ряда, x_{t+1} в алгоритм обуславливает новый член последовательности значений неподвижной точки, $\pi^1, \pi^2, ..., \pi^t$. На

основании критерия Коши [13], последовательность значений неподвижной точки будет сходящейся, если для любого сколь угодно малого значения δ найдется значение $d = d(\delta) \in N$, начиная с которого для произвольного значения $t \geq d$ будет выполняться соотношение:

$$\left|\pi^t - \pi^d\right| < \delta \qquad (9)$$

Предел такой сходящейся последовательности будет рассматривать как неподвижную точку однородной матрицы M - $\lim_{t\to\infty} \pi^t = \pi$.

В таком случае можно считать, что на временном интервале $[N; N+t]$ ряд нечетких состояний однородный. Нарушению однородности будет соответствовать нарушение условия (9) при некотором значении $t = t^*$. Более подробно шаги рекуррентного алгоритма можно посмотреть в [12].

На достаточно продолжительных сегментах однородности с постоянными коэффициентами модели авторегрессии, вообще говоря, можно проводить идентификацию этих коэффициентов. Тогда, каждый раз, попадая на новый продолжительный сегмент однородности, можно пересчитывать оценки коэффициентов и использовать их в рамках данного сегмента. Но дело в том, что продолжительных сегментов однородности с репрезентативной статистикой для оценки может быть в процессе наблюдения не много. Например, на рис. 1 такие сегменты выделены «жирной» линией.

Выход из такой ситуации может обеспечить аппроксимирующая модель. Для этой цели мы предлагаем использовать нечеткую модель Сугено, рассматриваемую как универсальный аппроксиматор [14]. На сегментах однородности не меняется индикатор разладки. Но дело в том, что таких сегментов может быть не много. Нечеткая модель Сугено покрывает все и может быть рассмотрена как универсальный аппроксиматор.

Для рассматриваемой ситуации модель Сугено будет представлена совокупностью нечетких продукционных правил следующего вида $R_i : \textit{если } \pi^\tau \in \tilde{A}_i, \textit{то } a_i$, где π^τ – текущая статистическая оценка неподвижной точки на i-ом сегменте однородности; $\tilde{A}_i$ - нечеткое множество значений неподвижной точки, функция принадлежности которого формируется либо экспертом, либо на основе машинного обучения; $a = (a_1; a_2; a_3)$ - вектор оценок коэффициентов модели (1).

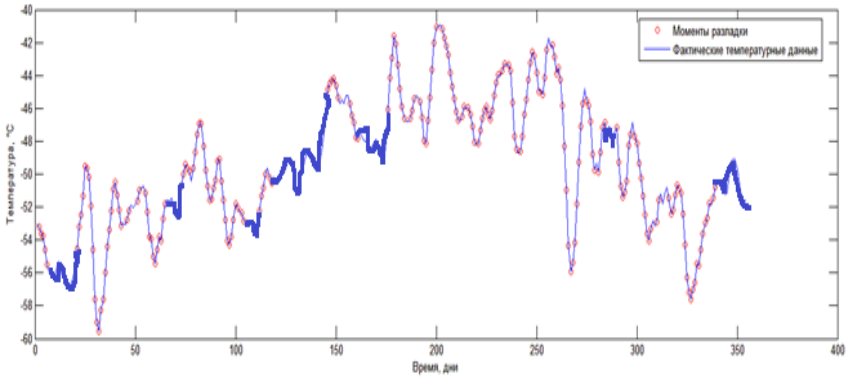


Рис. 1. Моменты разладки и участки однородности временного ряда

Исследование производилось с использованием статистических данных атмосферной температуры, полученных с открытого электронного ресурса. Данные представляют собой временные ряды среднесуточной температуры за несколько лет в узлах плоской координатной сетки, построенной на заданной высоте от поверхности земли (см. рис.1). Шаг сетки по широте (координата i) и долготе (координата j) составляет h=2,5°.

Для экспериментальной апробации использовались статистические данные реанализа параметров атмосферы за 2020-2022 годы, приведенные к среднесуточным значениям. Рассматривались процессы изменения температуры при геопотенциале 300 гПа в узле сетки с координатами -70° северной широты; 2,5° восточной долготы. Для построения модели использовалась инструментальная среда MATLAB 10.

На рис. 2 представлены результаты прогноза, полученного на базе цепи Маркова с нечеткими состояниями.

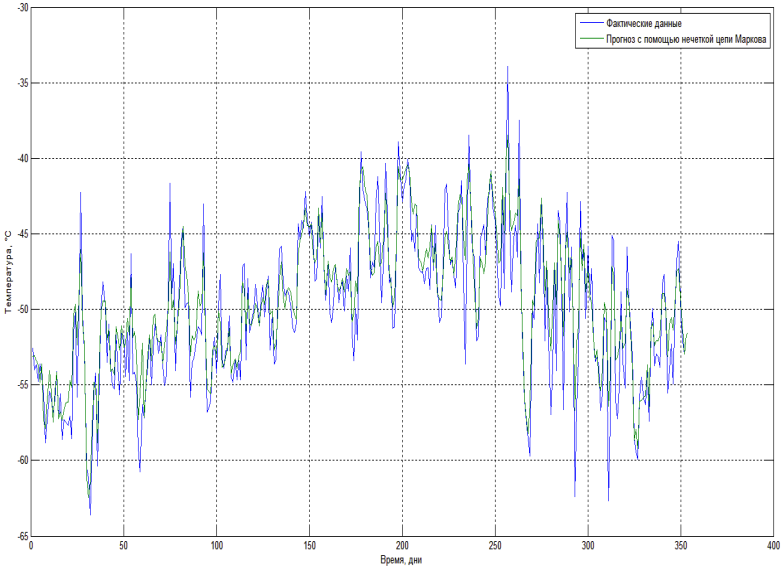


Рис. 2. Результаты работы цепи Маркова с нечеткими состояниями

В таблице представлен сравнительный анализ качества моделей, построенных в трех вариантах A, B и C. Первые два варианта A и B рассмотрены в работах [10, 15]. В первом варианте A используется комбинированная модель на базе авторегрессии и искусственной нейронной сети (ИНС), во втором варианте B рассматривается иерархическая нейронная сеть [19], наконец, вариант C, рассмотренный в данной работе.

Таблица

Сравнительный анализ работы моделей варианта A, B и C

Вид модели	R^2	**MAPE**
Вариант A (комбинированная модель на базе авторегрессии и искусственной нейронной сети)	0,96	3,5 %
B (иерархическая нейронная сеть)	0,98	2,93 %
C (дискретная цепь Маркова с нечеткими состояниями)	0,99	1,7 %

Заключение

В данной работе приведен краткий обзор подходов к моделированию временных рядов с неявными изменениями свойств. Рассматриваются адаптивные подходы и комбинированные подходы с выделением однородных сегментов во временных рядах с неявными изменениями свойств. Обсуждаются их достоинства и недостатки. Предлагается новый подход к построению модели авторегрессии с переменными коэффициентами, учитывающими неявные изменения свойств. Моделирование такого временного ряда реализовано на базе нечетких цепей Маркова. Рассматриваемый подход позволяет решить общенаучную проблему моделирования временного ряда с неявными изменениями свойств и значительно повысить качество модели по сравнению с известными.

Список литературы

1. Гребенюк, Е. А. Методы анализа нестационарных временных рядов с неявными изменениями свойств / Е. А. Гребенюк // Автоматика и телемеханика, 2005. – №12. – С. 3 – 29.
2. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю. П. Лукашин. – Финансы и стастика, 2003. – 416 с.
3. Филаретов, Г. Ф. Последовательный непараметрический алгоритм обнаружения разладки временно́го ряда / Г. Ф. Филаретов, А. А. Червова, З. Бучаала // Датчики и системы. – 2020. – № 1. – С. 9 –16.
4. Изерман, Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – Мир, 1984. – 508 с.
5. Филаретов, Г. Ф. Методические аспекты исследования алгоритмов обнаружения разладки временных / Г. Ф. Филаретов, Д. С. Репин // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2020 . – № 1 . – С. 27–32.
6. Лоскутов, А. Ю. Проблемы нелинейной динамики. III. Локальные методы прогнозирования временных рядов / А. Ю. Лоскутов, О. Л. Котляров, И. А. Истомин, Д. И. Журавлев // Вестн. Моск. ун-та, серия Физ-астр. – 2002. – № 6. – С. 3–21.
7. Никифоров, И. В. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов / И. В. Никифоров. – М.: Наука. – 1983. – 200 с.
8. Боровков, А. А. Математическая статистика / А. А. Боровков. М.: Наука. – 2010 . – 705 с.
9. Швагер, Дж. Технический анализ. Полный курс / Дж. Швагер. – М.: Альбина Паблишер. – 2022. – 804 с.

10. Матвеев, М. Г. Разработка и исследование статистических моделей нестационарного многомерного временного ряда атмосферных температур в условиях неоднородности / М. Г. Матвеев, Е. А. Сирота // Информационные технологии. – 2014. – № 12. – С. 20–24.

11. Гантмахер, Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. – М.: Наука. – 1966. – 576с.

12. Matveev, M. G. Modeling of Time Series with Structural Discontinuities Based on Fuzzy Markov Chains / M. G. Matveev, E. A. Sirota // 6th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – 2024. – P. 127–132.

13. Фихтенгольц, Г. М. Основы математического анализа / Г. М. Фихтенгольц. –М.: Наука. – 1968. – 440 с.

14. Шведов, А. С. Анализ динамики фондовых индексов с использованием нечетких моделей Такаги – Сугено / А. С. Шведов, Е. О. Могилевич // Экономический журнал ВШЭ. – 2017. – Т. 21. – № 3. – С. 434–450.

15. Сирота, Е. А. Прогнозирование нестационарных временных последовательностей на основе иерархических многослойных нейронных сетей / Е. А. Сирота // Журнал «Информационные технологии». – 2014. – №1. – С. 67-71.

Теоретико-игровая модель управления мультиагентным роем беспилотных летательных аппаратов

В. В. Меньших, email: menshikh@list.ru
А. Н. Никитенко, email: nikitenkoan27@mail.ru

Воронежский институт МВД России

Аннотация. *В работе предложена модель организации «мягкого» управления роем беспилотных летательных аппаратов на основе использования методов теории игр.*

Ключевые слова: *рой беспилотных летательных аппаратов, мультиагентная система, теоретико-игровое моделирование, равновесие Штакельберга.*

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся неотъемлемой частью современных технологий, находя применение в самых разных областях. Они успешно используются для выполнения как специализированных военных задач, так и гражданских, например, доставка грузов, мониторинг территорий, аэросъёмка и так далее. Современные технологии позволяют создавать БПЛА самых разных типов: от небольших квадрокоптеров для личного использования до крупных дронов, способных выполнять сложные задачи в промышленных масштабах. Их использование открывает новые возможности в самых разных сферах деятельности.

Одним из перспективных вариантов использования БПЛА является их применение в составе так называемого роя [1]. Рой БПЛА представляет собой группу летательных аппаратов, которые действуют скоординировано, выполняя совместные задачи без непосредственного вмешательства оператора. Представляя рой БПЛА в контексте мультиагентной системы (МАС) [2] (мультиагентный рой БПЛА), будем считать, что каждый элемент роя является автономным агентом, способным рационально принимать решения на основе информации об окружающей его обстановке [3], в том числе с учетом различных типов взаимодействия агентов (кооперация, конкуренция и другие). При этом важным аспектом является способность мультиагентного роя адаптироваться к условиям среды функционирования и эффективно распределять имеющиеся ресурсы.

© Меньших В. В., Никитенко А. Н., 2025

Существуют различные подходы к моделированию процессов функционирования мультиагентного роя БПЛА [5]. Например, имитационное моделирование, которое позволяет построить работу реальной системы в виртуальной среде с учётом заданных параметров. Однако в данной работе основным предметом исследования является процесс влияния взаимодействия агентов мультиагентного роя БПЛА на эффективность функционирования как всей системы, так и её отдельных элементов. В связи с этим будет использован такой подход как теоретико-игровое моделирование [4]. Методы теории игр позволяют на основе анализа взаимодействия объектов осуществлять выбор оптимальных стратегий их действий.

1. Выбор равновесных состояний для моделирования управления мультиагентным роем БПЛА

При функционировании МАС, в том числе роя БПЛА, как правило, имеются индивидуальные цели отдельных агентов и общая цель системы [6]. При моделировании управления такими системами важно учитывать взаимодействия между агентами, поскольку эффективность их действий зависит не только от собственных решений, но и от действий других агентов. В таких случаях классическим инструментом моделирования является теория игр. Выбор управленческих решений сводится к нахождению равновесных состояний, среди которых можно выделить [7].

1. Агенты могут согласовывать свои решения и выбирать их таким образом, чтобы максимизировать свою эффективность, при этом не снижая эффективности других агентов (равновесие Парето).
2. Агенты принимают решения без согласования, выбирая такие стратегии, при которых отказ от них не приведет к улучшению их эффективности (равновесие Нэша).
3. Один агент, ведущий, принимает решение, максимизируя свою эффективность, после чего остальные агенты выбирают оптимальные стратегии, учитывая выбор ведущего (равновесие Штакельберга).

В зависимости от условий функционирования роя БПЛА и выбранного с их учётом типа равновесия может быть составлена система уравнений для каждого типа равновесия. В контексте задачи управления роем БПЛА выбор типа равновесия зависит от условий его функционирования, например, наличие в рое БПЛА, осуществляющего координацию всех элементов роя (так называемый лидер), а также наличие или отсутствие устойчивой связи между агентами мультиагентного роя. Распределение равновесных состояний для таких ситуаций представлен в табл. 1.

Таблица 1

Равновесные состояния в мультиагентном рое

Тип равновесия	Наличие устойчивой связи между агентами	Наличие агента-лидера
Равновесие Штакельберга	+	+
Равновесие Парето	+	–
Равновесие Нэша	–	–

В этих условиях может быть использована концепция «мягкого» управления [8].

2. Использование «мягкого» управления

«Мягкое» управление предполагает процесс принятия решений, при котором деятельность одного агента может быть частично ориентирована на повышение эффективности работы других агентов, в том числе путём снижения собственной эффективности. Математическое описание этого процесса приведём для системы, включающей двух агентов. Обозначим: $S = \left\{ s_1, ..., s_{|S|} \right\}$ – множество всех возможных управленческих решений в системе, состоящей из двух агентов; их частные решения определяются: $N = \left\{ n_1, ..., n_{|S|} \right\}$ – множество возможных решений первого агента; $A = \left\{ a_1, ..., a_{|S|} \right\}$ – множество возможных решений второго агента. В таком случае для каждого $s_j = \left(n_j, a_j \right)$.

Будем считать заданными функции $X_i : S \to \mathbb{R}$, характеризующие индивидуальную эффективность решения с точки зрения i-го агента, и функции $f_i\left(X_1, X_2\right)$, которые описывают коллективную эффективность в условиях мягкого управления и имеют вид.

$$f_i\left(X_1, X_2\right) = \nu_{i1} X_1(s_j) + \nu_{i2} X_2(s_j), \qquad (1)$$

где ν_{ik} – коэффициенты, указывающие на степень заинтересованности i-го агента в повышении эффективности k-го агента, которые удовлетворяют ограничениям $\nu_{i1} + \nu_{i2} = 1, i = 1, 2;\ \nu_{ik} \in [0;1]$.

Возможные варианты взаимодействия агентов, в зависимости значений параметров функции (1) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты взаимодействия агентов

№ п\п	v_{11}	v_{12}	v_{21}	v_{22}	Описание способа управления	
1	1	0	0	1	Каждый агент функционирует в своих интересах (традиционный подход)	
2	(0;1)	(0;1)	0	1	Первый агент функционирует частично в интересах второго	«Мягкое» управление
3	0	1	(0;1)	(0;1)	Первый агент функционирует в интересах второго, второй частично в интересах первого	
4	(0;1)	(0;1)	1	0	Второй агент функционирует в интересах первого, первый частично в интересах второго	
5	0	1	0	1	Первый агент функционирует только в интересах второго (эксплуатация)	
6	1	0	(0;1)	(0;1)	Второй агент функционирует частично в интересах первого	
7	1	0	1	0	Второй агент функционирует только в интересах первого (эксплуатация)	
8	(0;1)	(0;1)	(0;1)	(0;1)	Взаимный учёт интересов агентов	

3. Численный пример

В качестве примера рассмотрим использование равновесия Штакельберга, где агентом-лидером является первый агент роя БПЛА.

При использовании «мягкого» управления, например, в ситуации, когда агент-лидер частично функционирует в интересах второго агента (пункт 2 в табл. 2), равновесие $\left(n^*, a^*\right)$ является решением следующей системы неравенств:

$$\begin{cases} \forall n, a \;\; v_{11} X_1\left(n^*, a^*\right) + v_{12} X_2\left(n^*, a^*\right) \geq v_{11} X_1(n, a) + v_{12} X_2(n, a) \\ \forall a \;\; v_{22} X_2\left(n^*, a^*\right) \geq v_{22} X_2\left(n^*, a\right). \end{cases} \quad (2)$$

При расчете значений функции коллективной эффективности для двух БПЛА распределение значений эффективности было представлено в биматричном виде:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 8 & 5 & 8 & 2 \\ 6 & 3 & 3 & 4 \\ 1 & 8 & 1 & 2 \end{pmatrix}, \; A_2 = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 6 & 3 \\ 7 & 1 & 2 & 4 \\ 2 & 5 & 3 & 2 \end{pmatrix}. \qquad (3)$$

При проведении расчетов значений функций вида (1) для каждой матрицы (3) при различных значениях параметра ν_{ik} был получен результат распределения полезности, представленный на рисунке.



Рисунок. Распределение полезности игры

Оптимальное значение заинтересованности первого агента в помощи второму – $\nu_{12} = 0{,}2$.

Заключение

В данной работе была предложена теоретико-игровая модель организации управления мультиагентным роем БПЛА на основе концепции «мягкого» управления. Этот подход позволяет учитывать индивидуальные интересы агентов (БПЛА) и оптимизировать их взаимодействие в условиях динамически изменяющейся среды. Перспективная реализация модели направлена на разработку адаптивных и более эффективных стратегий управления роями БПЛА.

Список литературы

1. Ступницкий М. М. Рой БПЛА – новая парадигма применения малоразмерных БПЛА / М. М. Ступницкий, Л. О. Мырова, П. С. Королев // Электросвязь. – Москва,2023. – № 4. – С. 2-10.

2. Wooldridge M. An introduction to Multiaqent Systems. – Chichester, West Sussex, England: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2002. P. 492.

3. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход. Решение проблем : знания и рассуждения / С. Рассел, П. Норвиг. – 4-е изд., том 1, пер. с английского. – Санкт-Петербург: Диалектика, 2021. – 704 с.

4. Новиков, Д.А. Теория игр и мультиагентные системы / Д.А Новиков // Proceeding of the International Workshop «Networking games and management» (NGM-2012, Petrozavodsk). – Petrozavodsk, 2012. – С. 47-50.

5. Кузнецов, А. В. Краткий обзор многоагентных моделей / А. В. Кузнецов // Управление большими системами: сборник трудов. – 2018. – № 71. – С. 6-44.

6. Никитенко, А.Н. Подход к разработке теоретико-игровой модели обслуживания объектов беспилотными летательными аппаратами / А. Н. Никитенко // IV научно-педагогические чтения молодых ученых имени профессора С.В. Познышева : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции курсантов и студентов, Воронеж, 17 апреля 2024 года. – Воронеж: Воронежский институт ФСИН России, 2024. – С. 6-9.

7. Никитенко, А. Н. Описание типов равновесий в теоретико-игровых моделях при принятии управленческих решений / А. Н. Никитенко, Т. В. Меньших // Актуальные проблемы деятельности подразделений уголовно-исполнительной системы : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 19 октября 2023 года. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России., 2023. – С. 372-374.

8. Menshikh, V. V. Balance on Nash in «Soft» Control Problems for Systems of the Hierarchal Type / V. V. Menshikh, D. E. Orlova // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. – 2019. – Vol. 12, No. 1. – P. 144-149.

Риск-менеджмент в проектном управлении

А. В. Минаков, e-mail: andrey.minakov.2000@list.ru
В. Ф. Минаков, e-mail: m-m-m-m-m@mail.ru
Д. И. Пушкарев, e-mail: sunkerus@gmail.com

Санкт-Петербургский Государственный Экономический Университет

Аннотация. *Риск-менеджмент играет важную роль в проектном управлении, поскольку позволяет снизить вероятность наступления негативных событий и возникновения непредвиденных расходов, способствуя достижению целей проекта. Данная статья посвящена особенностям управления рисками при разработке и реализации проекта. Особое внимание уделяется методам и инструментам риск-менеджмента, которые направлены на снижение наступления рисковых событий и успешную реализацию проекта в установленные сроки. В статье также рассмотрены особенности и роль цифровых технологий в риск-менеджменте.*

Ключевые слова: *управление проектом, риск-менеджмент, этапы управления рисками, современные методы управления рисками проекта, автоматизация риск-менеджмента.*

В современном мире риск-менеджмент приобретает особое значение. Быстро меняющаяся внешняя среда, начиная от появления инновационных технологий и заканчивая возникновением кризисных явлений, способствовала преобразованию процесса управления рисками.

Реализация проектов напрямую взаимосвязана с рисками. Любой проект характеризуется наличием издержек, сроками реализации и иными особенностями, что несет в себе риски неисполнения поставленных целей. Например, в случае задержки доставки необходимых ресурсов сроки проекта увеличатся. Следовательно, реализация проекта невозможна без организации эффективного риск-менеджмента.

Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости анализа особенностей и современных методов управления рисками проекта, что способствует достижению его целей за счёт снижения вероятности наступления рисковых событий в условиях постоянно изменяющейся внешней среды.

© Минаков А. В., Минаков В. Ф., Пушкарев Д. И., 2025

Цель работы – изучение особенностей риск-менеджмента в проектном управлении и выявление тенденций его развития в современном мире.

Начнём с того, что риск в широком смысле – это вероятность наступления события, которое приводит к негативным последствиям. Риски возникают по причине неопределенности. В проектном управлении риски характеризуются влиянием на цели проекта, а их реализация приводит к потери средств, недополучению дохода или возникновению незапланированных расходов.

Реализация рисков обусловлена факторами риска – то есть возникновением событий, которые приводят к негативным последствиям.

Проектные риски можно классифицировать по различным признакам. Например, в зависимости от сферы возникновения они делятся на внутренние и внешние. Первые из них возникают во внутренней среде и зависят от принятых руководителем проекта решений. К примеру, такими рисками являются недостаток квалификации кадров, устаревшее оборудование или ошибки в планировании, что может привести к увеличению сроков проекта. Внешние риски обусловлены изменением внешней среды. Например, рост цен на необходимые ресурсы приведет к увеличению издержек проекта.

По величине возможных потерь риски в проектном управлении делятся на допустимые, критические и катастрофические. В случае если реализация риска в незначительной степени отразится на результатах проекта, его можно отнести к допустимым рискам. И наоборот, если реализация риска приведет к полной потери финансовых ресурсов или убыткам, его относят к катастрофическим.

Под управлением рисками проекта понимается процесс изучения рисков, которые возникают при реализации проекта, и формирования мер по снижению их вливания. Основной целью риск-менеджмента является сокращение вероятности наступления негативных событий, которые приводят к потери ресурсов, смещению сроков проекта и др. Анализ рисков в проектном управление в первую очередь проводится при разработке проекта, а также на каждом этапе его реализации. Проведение повторного анализа направлено на формирование актуальных данных о выявленных на этапе разработке рисках и поиск новых.

Процесс риск-менеджмента в проектном управление включает следующие этапы:

– планирование управления рисками;

– идентификация рисков;
– качественный анализ;
– количественный анализ;
– формирование и реализация стратегий;
– мониторинг рисков.

На первом этапе ставятся цель, задачи и принципы управления рисками, на основе которых строится риск-менеджмент. Далее при помощи изучения различных источников информации осуществляется поиск или идентификация рисков.

На основе формирования списка рисков проводится их качественный и количественный анализ. Первый из них характеризуется группировкой рисков по степени воздействия, оценкой их качества и влияния на проект, срочностью реагирования. Инструментом ранжирования рисков является построение матрицы рисков, в которой все выявленные риски размещаются в зависимости от вероятности их возникновения и тяжести ущерба. Результатом качественной оценки помимо матрицы рисков является формирование списка рисков, требующих немедленного реагирования и требующих дополнительного анализа, выявление трендов в части возникновения рисков. Количественный анализ представляет из себя определение количественного влияния рисков на проект, то есть расчёт потенциального ущерба от реализации рискового события (расчёт величины финансовых, временных и иных потерь).

В результате качественного и количественного анализа риски проекта ранжируются в зависимости от степени влияния. Риск-менеджмент в первую очередь направлен на риски, вероятность наступления которых высокая и ущерб от которых имеет наибольшее значение.

Следующим этапом риск-менеджмента является формирование стратегий управления каждым риском, а также их реализация. Выбор метода или инструмента управления риском зависит от различных факторов, начиная от масштаба и особенностей проекта и заканчивая характеристиками конкретного риска. Выделяют следующие методы риск-менеджмента в проектном управлении:

– отказ от рисков;
– передача;
– снижение;
– принятие риска.

Отказ или уклонение от рисков предполагает изменение процессов и хода реализации проекта. В рамках проектного управления отказ от рисков может осуществляться в форме отказа от реализации проекта в

целом, отказа от использования заемного капитала, отказа от сотрудничества с ненадежными инвесторами и др. Данный метод подходит в случае, если вероятность наступления риска высокая, а ущерб превышает финансовые результаты проекта.

Передача риска – это перенос ответственности за реализацию рисков третьей стороне. Например, руководители проекта могут передать управление рисками специализированным организациям. Одним из методов передачи риска является их страхование – перенос риска на страховую компанию, которая берет ответственность за риск за определенную плату.

Одной из форм управления рисками является снижение вероятности их наступления или сокращения ущерба. Снижение рисков проекта может осуществляться при помощи следующих мер: применение инновационных технологий, привлечение высококвалифицированных специалистов. Одним из методов снижения риска является лимитирование, которое характеризуется установлением предельного значения на осуществление рисковых операций. Например, установка лимита на привлечение заемных средств из одного источника.

Принятие риска характеризуется формированием резервов для покрытия непредвиденных расходов в случае реализации рисков. Применение метода принятия подходит для управления рисками с низкой или средней вероятностью наступления и небольшими финансовыми потерями.

Следовательно, деятельность по управлению рисками направлена на минимизацию воздействия рисков и реализацию проекта в срок. Стоит отметить, что выбор методов управления определенным риском осуществляется индивидуально, поскольку для каждого отдельного проекта степень влияния одного и того же риска различна. При выборе необходимо учитывать не только особенности риска, но и характеристики проекта, его цели, масштаб, ожидаемые результаты. Управление рисками должно осуществляться поэтапно с использованием комплексного подхода.

Немаловажным этапом является контроль рисков, поскольку при изменении внешних обстоятельств меняются характеристики рисков и степень их влияния. На каждом этапе проекта возникают новые риски, управление которыми необходимо для успешной реализации проекта. Подчеркнем, что процесс риск-менеджмента также включает определение подходов к управлению, поиск источников информации и сбор данных, распределение ролей и ответственности между участниками проекта, формирование и привлечение финансовых и иных

ресурсов для формирования эффективного механизма управления рисками.

Выделим также принципы риск-менеджмента в проектном управлении. Во-первых, риск-менеджмент, как было сказано ранее, должен сопровождать все этапы реализации проекта. Во-вторых, подход к управлению рисками должен быть структурным и систематическим. В-третьих, одним из принципов является определение величины допустимого риска. Необходимо анализировать соотношение ущерба от реализации риска и издержек на проведение мероприятий по управлению им. Так, их проведение нецелесообразно в случае, если ущерб незначителен и ниже, чем издержки на управление рисками.

Следовательно, в условиях постоянно изменяющейся внешней среды риск-менеджмент имеет высокое значение в процессе управления проектом. Вовремя принятые управленческие решения позволяют снизить финансовые потери и реализовать проект в установленные сроки, достигнув поставленных целей. Стоит отметить, что успешная реализация проекта в коммерческой организации способствует также росту её финансовых результатов, повышению лояльности клиентов, контрагентов и иных заинтересованных лиц.

Цифровая трансформация общества и появление новых технологий способствовало преобразованию риск-менеджмента. Сегодня одной из тенденций является внедрение цифровых решений, улучшающих качество оценки и управления рисками и повышающих эффективность принятых управленческих решений. В первую очередь речь идет об автоматизации процесса риск-менеджмента. В настоящее время актуальным является внедрение технологий анализа больших данных и искусственного интеллекта, которые могут использоваться на всех этапах управления рисками. Например, для анализа рисков используется Project Expert от Microsoft. Проведение мониторинга при помощи таких программ не только способствует повышению качества управления рисками, но и скорости их идентификации и принятия решений. Повсеместно с этим автоматизированная идентификация рисков позволяет снизить риск человеческих ошибок.

Также современные технологии аналитики данных могут помочь компаниям оценить риски и разработать стратегии управления ими. Это включает использование алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта.

Отмечается, что в результате введения санкций и ухода ряда иностранных игроков с отечественного рынка возникла необходимость разработки аналогов крупнейшим цифровым платформам по управлению рисками. В результате в рамках программы

импортозамещения реализуются отечественные проекты по разработке и внедрению автоматизированных систем управления рисками. Одним из практических примеров является GRC-платформа ОАЗИС, разработанная IT-компанией «Иннотех» (входит в Холдинг Т1). Данная платформа позволяет создавать единое информационное пространство для эффективного управления различными рисками. ОАЗИС обеспечивает комплексное управление, контроль и мониторинг рисков, оптимизацию управленческих процессов и контрольных процедур.

Таким образом, риск-менеджмент играет важную роль в проектном управлении, поскольку способствует обеспечению реализации проекта. При этом управление рисками должно сопровождать все этапы реализации проекта. В современном мире постоянные изменения во внешней среде требуют постоянного мониторинга рисковых событий и при необходимости преобразования методов реагирования, которые направлены на минимизацию или исключение рисков.

Стремительное развитие общества и внедрение цифровых технологий способствовало появлению различных программ, в том числе позволяющих выявлять риски и определять степень их влияния на деятельность конкретного субъекта экономики, что способствует принятию грамотных решений.

Список литературы

1. Иванова, А. С. Методы управления риском / А. С. Иванова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2023. – № 20 (467). – С. 251-253.

2. Калязина, Е.Г. Цифровой менеджмент в управлении проектами / Е.Г. Калязина // Креативная экономика. – 2021. – № 15(12). – С. 4747-4766.

3. Мещакова, А.Е. Управление рисками проекта в условиях неопределенности / А.Е. Мещакова, А.В. Павлов // Вестник Сургутского государственного университета. – 2024. – №3. – с. 56-63.

4. Ролин, Д. И. Определение содержания проекта при помощи инструментов риск-менеджмента / Д. И. Ролин, А. В. Ерохин. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2022. – № 44 (439). – С. 274-278.

5. Фоменко, Н. А. Управление рисками в проектах: анализ рисков, связанных с проектами, и разработка стратегий управления ими / Н. А. Фоменко. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2023. – № 17 (464). – С. 217-219.

6. Шкурко, В. Е. Управление рисками проекта : учебник для вузов / В. Е. Шкурко ; под научной редакцией А. В. Гребенкина. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 163 с.

Расширение фреймворка «теслер» для разработки web-сервиса для автоматизации работы отдела интеллектуальной собственности ФГБОУ ВО «ВГУ»

П. О. Филонов, email: qqq.qqq48@yandex.ru
Е. А. Копытина, email: zhemkaterina@yandex.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной статье предложено расширение фреймворка «теслер» для сокращения процесса разработки web-сервиса по автоматизации работы отдела интеллектуальной собственности ФГБОУ ВО «ВГУ».*

Ключевые слова: *теслер, фреймворк, автоматизация, web-сервис, метаданные, дженерик, абстракция, DTO, entity.*

Введение

В настоящее время существует множество инструментов разработки и фреймворков, которые позволяют делать процесс написания приложений более удобным, быстрым и комфортным. Причиной этому является внедрение информационных систем во все сферы жизни, чтобы их усовершенствовать, обезопасить и автоматизировать. Следовательно, появилась огромная потребность в разработке таких систем и, как следствие, инструментария.

В то же время, язык программирования Java является одним из самых популярных и востребованных. Без преувеличения, на миллиарды устройств, как мобильные, так и десктопные по всему миру установлены приложения, реализованные данным языком. Таким образом, существует и будет существовать серьёзная потребность в поддержке огромного числа устройств, а также разработка новых программ разного виды и специфики, как показано в [1, 2].

Всё вышесказанное описывает практическую значимость фреймворков для языка программирования Java, одним из которых является теслер. Прежде всего, теслер – это open-source фреймворк для разработки enterprise-приложений, который позволяет автоматизировать многие процессы. В том числе способствует генерации страниц и их поля без использования frontend реализации с помощью метаданных заранее реализованных компонентов. Страницы описываются в json формате и основаны на бизнес-компонентах системы – представлениях

© Филонов П. О., Копытина Е. А., 2025

бизнес-сущностей. Самыми используемыми блоками фреймворка являются:

- Фильтрация списка бизнес-сущности;
- Сортировка;
- Валидации;
- Ошибки.

Их реализация сводится к вызову абстракций теслера с указанием нужного объекта. Это возможно благодаря использованию дженериков в качестве классов абстракций.

Однако, несмотря на удобство фреймворка, есть рутинные задачи, которые требуют написания однотипного повторяющегося кода, например, для обновления в базе данных изменённых полей на форме, как показано в [3, 4].

1. Постановка задачи

В рамках разработки web-сервиса для автоматизации работы отдела интеллектуальной собственности ФГБОУ ВО «ВГУ» с использованием фреймворка «теслер» необходимо реализовать упрощённую версию обновления значений полей при их изменении на форме, избавляя от написания однотипного кода, выделяя его в абстракцию с использованием дженериков для её поддержания.

2. Средства реализации программного продукта

Проект реализуется с помощью следующих технологий:

- Язык программирования Java 11. Строго типизированный объектно-ориентированный язык программирования общего назначения, разработанный компанией Sun Microsystems (в последующем приобретённый компанией Oracle). Популярные области применения языка: разработка enterprise приложений, веб-разработка, мобильная разработка [5].
- Фреймворк tesler 3.0.4. Open-source фреймворк для разработки enterprise-приложений, работающий на принципе бизнес-компонент и содержащий абстрактную реализацию операций CRUD (create, read, update, delete) и некоторых дополнений для работы с бизнес-сущностями.
- Язык программирования JavaScript. Язык программирования, использующийся для создания интерактивных и динамических web-сайтов. С его помощью сайты делают интерактивными: добавляют всплывающие окна, анимацию и формы для отправки информации.
- Фреймворк React. JavaScript-библиотека с открытым исходным кодом для разработки пользовательских интерфейсов. React

помогает создать функциональные интерактивные web-интерфейсы, быстро и удобно реализовать отдельные компоненты и страницы целиком.

Для реализации проекта используется следующее программное обеспечение:

– IntelliJ IDEA 2023.3.2 (Ultimate Edition). Интегрированная среда разработки (IDE), используемая для программирования на языке Java. Она также поддерживает множество других языков программирования, таких как Kotlin, Groovy, Scala, JavaScript, TypeScript и другие. IntelliJ IDEA предлагает широкий спектр инструментов для повышения производительности разработчиков, включая рефакторинг, отладку, интеграцию с системами контроля версий, такими как Git, и поддержку различных фреймворков и технологий, включая Spring, Hibernate и Java EE. Ultimate Edition предоставляет дополнительные функции, такие как поддержка корпоративных технологий и инструментов для работы с базами данных, что делает её мощным инструментом для профессиональных разработчиков [6].

3. Реализация логики программного продукта

На рис. 1 показан путь передачи данных через программные модули приложения.

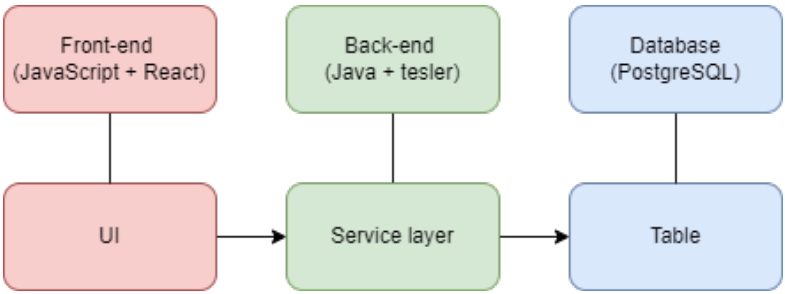


Рис. 1. Путь передачи данных с разделением на модули приложения

– UI сторона реализована на front-end части с помощью языка программирования JavaScript и фреймворка React. Пользователь взаимодействует с приложением именно в этой части, заполняя данные на форме, например, логин пользователя на рис. 2.

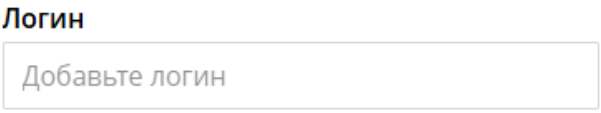


Рис. 2. Форма заполнения логина пользователя

– Основная бизнес-логика реализована на back-end стороне, в так называемом «сервисном» слое, с помощью языка программирования Java и фреймворке tesler. Интересуемая область обновления данных написана в методе doUpdateEntity, служащий прослойков между введением данных и заполнением их в запись базы данных (листинг 1).

Листинг 1

```
@Override
protected ActionResultDTO<UserDTO> doUpdateEntity(SmUser
entity, UserDTO dto, BusinessComponent bc) {
  if (dto.isFieldChanged(login)) {
   entity.setLogin(dto.getLogin());
  }
  return new ActionResultDTO<>(entityToDto(bc, entity));
}
```

– База данных приложения – реляционная. СУБД PostgreSQL. Используется для хранения записей созданных бизнес-сущностей, например, user – пользователь. В таблице содержится набор атрибутов, пример которых продемонстрирован на рис. 3.

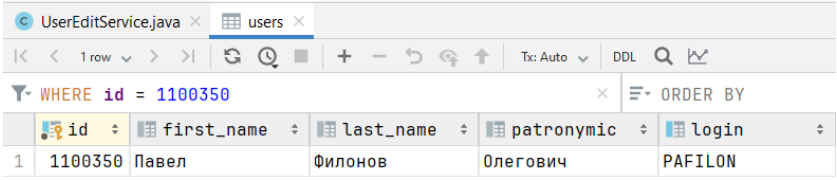


Рис. 3. Содержимое таблицы user

В листинге 1 представлена логика переноса введённых данных пользователем из объекта DTO (data transfer object) в entity – объектное представление таблицы для работы с ней как с java-классом. Таким образом, необходимо каждый раз в условии проверять свойство поля, изменилось ли оно в клиентской части. Однако, стоит понимать, что в проектах столбцов, или свойств, намного больше. Следовательно, метод

doUpdateEntity может представлять из себя столько же условных конструкций (if). Множество однотипных условий заполоняют проект.

Решить эту проблему возможно в виде абстракции кода с помощью дженериков и функциональных интерфейсов. Создадим класс TeslerMapperUtil для хранения статических методов-утилит. Разберём пример реализации решения проблемы, представленного в листинге 2.

Листинг 2

```
private static <D, V, T extends DataResponseDTO> void
setMappedIfChanged(
   final T dto, final DtoField<T, D> dtoField,
   final Consumer<V> entitySetter, final Function<D, V>
mapper) {
  if (dto.isFieldChanged(dtoField)) {
entitySetter.accept(mapper.apply(dtoField.getValue(dto)));
  }
}
public static final <V, T extends DataResponseDTO> void
setIfChanged(final T dto, final DtoField<T, V> dtoField,
   final Consumer<V> entitySetter) {
  setMappedIfChanged(dto, dtoField, entitySetter,
Function.identity());
}
```

- Используем второй по порядку метод для вызова первого с дополнительной передачей метода функционального интерфейса identity, возвращающего только переданный результат.
- Дженерики D, V и T наследуются от типа DataResponseDTO. При наследовании всех DTO проекта от данной абстракции использование любого объекта является корректным. Следовательно, логика выделяется в абстракцию, общую для всех классов.
- DtoField – автогенерируемое поле из свойства оригинального класса DTO при запуске приложения.
- Consumer – функциональный интерфейс, принимающий значение в виде функции для дальнейшего вызова её внутри другом методе, в нашем случае – в setMappedIfChanged.
- Function – функциональный интерфейс, принимающий значение одного типа и возвращающий другое значение другого типа. В нашем случае нужен для получения значения поля класса DTO.

Внутренний метод содержит реализацию выполнения функции установки значения из DTO в entity с проверкой на её изменчивость. Вся логика выполнена в абстрактном виде на уровне интерфейсов и

абстрактных классов. Таким образом, метод универсален и может быть использован для всех видов сущностей проекта.

Результат работы показан на листинге 3.

Листинг 3

```
TeslerMapperUtil.setIfChanged(dto, login, entity::setLogin);
```

Сравнив с наполнением метода в листинге 1 получаем разницу между одной и тремя строками кода и исключением конструкции условия. Масштабируя ситуацию на уровень проекта с сотнями параметрами, получаем сокращение огромного количества пространства и «чистый» вид реализации проекта.

Заключение

В данной статье рассмотрено расширение фреймворка «теслер» для разработки web-сервиса для автоматизации работы отдела интеллектуальной собственности ФГБОУ ВО «ВГУ». Разобрано решение и продемонстрирована разница между реализациями установки значения из формы ввода пользователем в таблицу базы данных. Описанное предложение может использоваться в любых других проектах на основе фреймворка «теслер», что делает его универсальным. В будущем планируются другие расширения для оптимизации разработки.

Список литературы

1. Устилкин, В. В. Исследование языков программирования Java и C# для серверных платформ и рабочих станций / В. В. Устилкин, М. В. Люта, И. А. Розломий // Науковий огляд. – 2016. – № 9(30). – С. 5-13. – EDN WYJOIR.

2. О языках программирования: применение и популярность / О. Б. Смирнова, Л. В. Ламонина, Д. В. Осколков, А. В. Подгорный // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омск, 27 апреля 2023 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2023. – С. 806-811. – EDN VDTYEF.

3. Разработка программного комплекса для автоматизации деятельности Контрольно-счетной палаты Воронежской области / А. В. Порядин, И. И. Дмитриева, И. Р. Корнилов [и др.] // Информатика: проблемы, методы, технологии : материалы XXIII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова, Воронеж, 15–

17 февраля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2023. – С. 901-906. – EDN GCRTDP.

4. Реализация проекта по созданию реляционной базы данных для Контрольно-счётной палаты Воронежской области / А. Г. Потапов, А. В. Порядин, Т. Д. Братышев [и др.] // Труды молодых ученых факультета компьютерных наук ВГУ. Том Выпуск 2. – Воронеж : ООО «ВЭЛБОРН», 2022. – С. 132-137. – EDN FEIMCC.

5. Балакин, И. А. Использование программной платформы Java Collections Framework при разработке приложений на языке Java / И. А. Балакин, И. П. Мясников // Современные научные исследования и инновации. – 2024. – № 6(158). – EDN ZMVBCS.

6. Усенко, Р. С. Сравнительный анализ IDE Intellij idea и Eclipse / Р. С. Усенко, В. В. Грущенко // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики : труды XIX Всероссийской с международным участием научнопрактической конференции, Симферополь-Гурзуф, 15-17 октября 2020 года. – Симферополь: ИП Зуева Т. В., 2020. – С. 193-194. – EDN PFPQCM.

Секция 6
Интеллектуальные информационные системы, компьютерная лингвистика, технологии информационного поиска

Галлюцинации в больших языковых моделях (LLM) и методы их компенсации

Е. А. Бабкина, email: bkatya5577@gmail.com [1]
В. В. Гаршина, email: garshina.veronika@gmail.com [1]

[1] Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной статье предложен обзор предметной области исследования методов компенсации галлюцинаций в LLM: описаны типы галлюцинаций, причины их возникновения и существующие решения, направленные на их компенсацию.*

Ключевые слова: *большие языковые модели, LLM, галлюцинации, методы компенсации, качество генерации текста, надежность LLM.*

Введение

Большие языковые модели (LLM), такие как GPT, BERT и их аналоги, в настоящее время являются важным инструментом в области искусственного интеллекта. Эти модели эффективны в задачах обработки естественного языка и применяются для создания текстов, перевода, анализа данных, генерации кода. LLM обучаются на больших объемах данных, поэтому могут решать сложные задачи, а их использование автоматизирует и ускоряет многие процессы [1].

Одной из ключевых проблем LLM является генерация некорректной или вымышленной информации, известной как «галлюцинации». Галлюцинации могут выражаться в виде фактических ошибок, логических несоответствий или генерации информации, не соответствующей исходным данным. Это особенно опасно в областях, которые требуют высокой точности и достоверности: медицина, право, образование, научные исследования [2]. Ошибки, генерируемые моделями, могут вводить пользователей в заблуждение и приводить к негативным последствиям.

Актуальность исследования методов компенсации галлюцинаций обусловлена необходимостью обеспечения достоверности и прозрачности работы LLM. Решение этой проблемы открывает возможности для более широкого применения моделей в различных задачах. Разработка новых подходов, направленных на снижение вероятности появления галлюцинаций, является важным направлением современных исследований. Нововведения в этой области способны

© Бабкина Е. А., Гаршина В. В., 2025

оказать значительное влияние на развитие технологий искусственного интеллекта.

1. Типы и причины появления галлюцинаций

Для исследования подходов к компенсации галлюцинаций важно для начала определить основные типы галлюцинаций, которые возникают в ходе работы больших языковых моделей. Можно выделить следующую классификацию галлюцинаций в LLM:

- Фактические галлюцинации представляют собой ложные утверждения, которые могут быть проверены путем сопоставления с внешними авторитетными источниками (например, модель утверждает, что первым человеком, ступившим на Луну, был Юрий Гагарин, хотя на самом деле это был Нил Армстронг);
- Контекстуальные галлюцинации возникают, когда LLM теряет связь с исходным контекстом. Это приводит к созданию логически несвязных высказываний, которые могут вводить пользователя в заблуждение (например, во время обсуждения возможности путешествий на Марс модель без причины упоминает строительство небоскребов в Нью-Йорке, хотя это не имеет отношения к теме);
- Логические галлюцинации возникают, когда модель генерирует противоречивые утверждения (например, модель утверждает, что «все кошки могут летать, потому что они имеют крылья». Это утверждение логически противоречиво, так как кошки не имеют крыльев и не могут летать);
- Лингвистические галлюцинации представляют собой ошибки, которые нарушают читаемость текста и затрудняют его понимание (например, модель генерирует фразу: «Солнце яркий свет, что приносит светом». Эта ошибка делает текст трудным для восприятия, так как смысл предложения невозможно понять).

Разобрав основные типы галлюцинаций, следует также изучить причины их возникновения, чтобы понять, какие аспекты обучения и архитектуры моделей влияют на их появление. В настоящее время известны следующие причины появления галлюцинаций в LLM:

- Ограниченность данных для обучения (модели обучаются на больших, но конечных наборах данных, которые к тому же могут содержать неполные, устаревшие или неточные сведения);
- Отсутствие истинного понимания контекста, эвристический характер генерации (модели не обладают истинным осознанием

текста. Они используют вероятностный подход к предсказанию следующего слова или фразы, основываются на статистических закономерностях в обучающих данных. Этот процесс не всегда гарантирует получение логически связной информации);
- Сложность запросов (при обработке запросов, которые требуют сложных рассуждений или многоэтапного анализа, модель может выдавать противоречивые ответы. Это связано с ограничениями архитектуры);
- Смешивание источников информации (модели обучаются на большом объеме данных, взятых из различных источников. Это приводит к генерации текстов, в которых могут упоминаться противоречивые факты или непоследовательные мнения).

Понимание типов и причин появления галлюцинаций в больших языковых моделях позволяет определить области, где можно улучшить их работу. Основными направлениями для повышения точности моделей являются улучшение качества и актуальности обучающих данных, развитие методов, позволяющих моделям более точно воспринимать контекст, а также совершенствование архитектуры для обработки сложных и многозначных запросов. Учитывая эти аспекты, можно уменьшить вероятность возникновения галлюцинаций, повысив тем самым надежность и полезность таких моделей.

2. Обзор существующих методов компенсации галлюцинаций в LLM

Галлюцинации являются критически важной проблемой в исследовательских и прикладных задачах. В связи с этим были разработаны различные методы компенсации галлюцинаций, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения [3-6].

Одним из наиболее популярных подходов является обучение с обратной связью (Reinforcement Learning with Learning with Human Feedback, RLHF). Этот метод предполагает использование человеческой оценки для настройки поведения модели. Аннотаторы оценивают сгенерированные моделью ответы по различным критериям: достоверность, полезность, связность. После этого оценки используются для формирования целевой функции вознаграждения. Среди преимуществ этого метода можно выделить гибкость настройки модели под конкретные задачи и снижение вероятности очевидных ошибок. Однако RLHF требует значительных временных и ресурсных затрат на сбор обратной связи. Кроме того, оценки людей могут быть субъективными и вызывать неточности ответов итоговой модели.

Другим важным подходом является использование внешних источников знаний. В этом случае модель обращается к базам данных,

поисковым системам или специализированным API для проверки или дополнения информации. Например, перед генерацией ответа модель может запросить данные из научных статей или корпоративных баз знаний. Преимущество этого метода заключается в том, что модель может опираться на актуальную и достоверную информацию, полученную из внешних источников. Однако эффективность подхода зависит от качества внешних источников. Если в них содержатся ошибки или недостоверная информация, модель может их перенять и воспроизвести при формировании ответов. Кроме того, интеграция с внешними системами требует дополнительных вычислительных ресурсов и может замедлить процесс генерации текста.

Метод итеративного уточнения (Iterative Refinement) основан на пошаговом улучшении текста. После генерации первого ответа модель оценивает его и вносит изменения, чтобы повысить соответствие запросу. Такой процесс может повторяться несколько раз до достижения оптимального результата. Преимущество этого подхода заключается в возможности исправления ошибок и повышения достоверности текста за счет дополнительной обработки. Однако на каждом этапе модель может вносить новые ошибки, особенно если первоначальный ответ был сильно некорректным.

Самопроверка (Self-verification) представляет собой метод, при котором модель самостоятельно проверяет достоверность сгенерированного текста. Например, после генерации ответа модель может сформулировать дополнительные вопросы и проверить внутреннюю согласованность информации. В некоторых случаях самопроверка предполагает сравнение с данными из внешних источников или проведение расчетов для проверки фактов. Преимуществом метода является снижение вероятности фактических ошибок за счет дополнительной проверки. Однако эффективность самопроверки ограничена способностью модели к интерпретации данных. Кроме того, процесс самопроверки требует дополнительных вычислительных затрат.

Ограничения на уровне декодирования являются еще одним способом компенсации галлюцинаций. Этот подход предполагает использование специальных стратегий генерации текста, (сэмплирование с температурой, top-k или top-p сэмплирование), а также наложение правил, которые запрещают модели генерировать заведомо ложные факты. Такие методы помогают улучшить согласованность текста за счет контроля процесса декодирования. Преимущество данного подхода заключается в его простоте и низких вычислительных затратах. Однако ограничения на уровне

декодирования не всегда устраняют галлюцинации полностью, так как они действуют только в рамках уже обученной модели. Если модель изначально обучена на данных с ошибками, такие ограничения не способны исправить проблему.

Методы компенсации галлюцинаций в LLM представляют собой набор подходов, каждый из которых обладает определенными преимуществами и ограничениями. Выбор подходящего метода зависит от конкретной задачи, доступных ресурсов и требований к точности и скорости генерации. Для достижения наилучших результатов перспективным направлением является разработка комбинированных решений, объединяющих несколько подходов с целью минимизации их недостатков и усиления преимуществ.

Заключение

В данной статье представлен обзор проблем, связанных с галлюцинациями в больших языковых моделях, и существующих методов их компенсации. Галлюцинации являются проблемой, требующей внимания, особенно в приложениях, где точность и достоверность информации критически важны. Несмотря на достигнутый прогресс в сфере компенсации галлюцинаций, текущие решения не обеспечивают достаточного уровня надежности. При разработке новых методов компенсации галлюцинаций необходимо учитывать архитектуру моделей, качество обучающих данных и механизмы интерпретации. Решение этих задач откроет новые возможности для безопасного и эффективного использования LLM в различных областях.

Список литературы

1. Гафаров, Ф. М. Искусственные нейронные сети и их приложения: учебное пособие / Ф. М. Гафаров, А. Ф. Галимянов. – Казань: Издательство Казанского университета, 2018. – 121 с.

2. Шадеркина, В. А. ChatGPT в медицине: возможности и ограничения / В. А. Шадеркина // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 33-43.

3. Vaswani, A. Attention Is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar [et al.] // NIPS. – 2017. – DOI: 10.48550/arXiv.1706.03762.

4. Кулин, Н. И. Продвинутые методы внедрения знаний в больших языковых моделях / Н. И. Кулин, С. Б. Муравьев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 588-593.

5. Brown, T. Language Models are Few-Shot Learners / T. Brown, B. Mann, N. Ryder [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – № 33. – С. 1877–1901.

6. Hu T. Unveiling LLM evaluation focused on metrics: challenges and solutions / T. Hu, X. H. Zhou. – Текст : электронный. – 2024. – URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.09135 (дата обращения: 20.11.2024).

Разработка алгоритма преобразования движений человека с видео в анимации для системы перевода русского текста на русский жестовый язык

М. Д. Госкаев, email: mgoskaev@gmail.com
М. Г. Гриф, email: grifmg@mail.ru

Новосибирский государственный технический университет

Аннотация. *Рассмотрены способы преобразования движений человека с видео в анимации для системы перевода звукового русского языка (текста) на русский жестовый язык. Проведен анализ проблем при преобразовании векторов, связанных с представлением ориентации объектов в трехмерном пространстве. Предложен алгоритм создания анимаций без ручного вмешательства подходящего качества для дальнейшего его использования в задачах перевода русского языка на русский жестовый язык.*

Ключевые слова: *анимирование жестов, русский жестовый язык, Unity, углы Эйлера, кватернионы.*

Введение

Современные технологии обеспечивают все более глубокую интеграцию различных форматов информации, что особенно актуально в контексте доступности и инклюзии. Одной из важных задач является создание эффективных инструментов для перевода текстовой информации на жестовый язык, что позволяет людям с нарушениями слуха полноценно воспринимать и взаимодействовать с окружающим миром. Жестовые языки – это естественные языки, используемые для общения людьми с нарушениями слуха. Эти языки независимы, так же богаты и сложны, как и любые вербальные языки, и обладают своими собственными типологическими и лингвистическими особенностями [5].

В данной статье рассматривается разработка алгоритма преобразования видео в анимации, который будет служить основой для системы перевода русского текста на русский жестовый язык. Жестовый язык – это не просто набор знаков, а полноценный язык со своей грамматикой, синтаксисом и культурными аспектами, что делает его перевод сложной задачей [2]. Существующие решения часто ограничиваются статичными изображениями или текстовыми описаниями, что не позволяет передать динамику и выразительность

© Госкаев М. Д., Гриф М. Г., 2025

жестов. Это создает значительные барьеры для людей с нарушениями слуха, которые могут испытывать трудности в понимании информации, передаваемой традиционными средствами.

В нашем подходе мы стремимся создать систему, которая будет автоматически обрабатывать текст на русском языке, извлекая из него ключевые элементы и преобразуя их в команды для аватара. Для этого необходим определенный набор анимаций, который будет использоваться для визуализации жестов, переведенных с помощью нейронной сети с русского текста. Такой подход позволит не только улучшить качество перевода, но и сделать его более интуитивно понятным и доступным для пользователей.

В этой работе представлены результаты исследований, нацеленных на создание алгоритма обработки видео с целью захвата движений и создания анимационных файлов для аватара, а также способ передачи команд от нейронной сети к аватару.

1. Производительность системы

В качестве среды разработки была выбрана Unity. Unity – это мощная и популярная кросс-платформенная среда разработки, используемая для создания трехмерных и двухмерных приложений, игр, виртуальной и дополненной реальности, симуляторов. Среда Unity позволяет разрабатывать проекты для различных платформ, включая ПК, что выгодно выделяет ее для задачи создания приложения перевода, которое должно работать на максимально большом количестве платформ.

При выборе способа визуализации команд, полученных от нейронной сети для их отображения аватаром, мы столкнулись с несколькими трудностями.

Первая и наиболее значимая проблема заключалась в ресурсоемкости обработки данных. Приложение, предназначенное для преобразования текста в речь и последующего перевода на жестовый язык, должно функционировать на множестве различных устройств. Среди них – как мощные настольные компьютеры, так и мобильные устройства с ограниченными вычислительными ресурсами. Это создает необходимость оптимизации работы системы, чтобы обеспечить плавность и быстроту реакции приложения.

Для решения этой проблемы было принято решение вынести нейронную сеть, отвечающую за перевод русского текста в команды для аватара, на сервер. Такой подход позволяет разгрузить устройства пользователей, минимизируя требования к их вычислительным мощностям. Однако, даже после получения команды от сервера, возникла новая проблема: синхронизация жестов в реальном времени.

При попытке перемещения аватара по координатам возникала значительная задержка, поскольку количество костей у аватара слишком велико. Это создавало чрезмерную нагрузку на устройства, что негативно сказывалось на пользовательском опыте.

В ответ на эту проблему было принято решение использовать заготовленные анимации жестов, которые могут быть заранее сохранены на устройстве пользователя. Эти анимации будут воспроизводиться при получении соответствующей команды от сервера. Такой подход не только уменьшает нагрузку на устройство, но и обеспечивает более быструю реакцию аватара на команды, что критически важно для естественного взаимодействия с пользователями.

2. Преобразование видео в анимации

Существует пара-тройка решений для создания анимаций из видео. Большинство из них основаны на фреймворке MediaPipe или S3D модели, обученной посредством библиотеки ONNX (Open Neural Network Exchange) [4, 7]. Однако, все эти решения не позволяют получать анимации того качества, которое требуется для перевода видео с жестами в полноценные анимации. Основная проблема данных решений – низкое качество захвата движений кистей. В большинстве случаев алгоритмы не способны точно отслеживать и воспроизводить сложные движения рук, что критически важно для адекватного представления жестового языка. Это приводит к тому, что конечный результат часто выглядит неестественно и не передает истинного смысла жестов. А те решения, которые способны на приемлемом уровне решать задачу захвата рук, не предусматривают создание анимаций для юнити. Было решено взять готовое решение, бесплатную пробную версию Dollars DEEP для трансляции положения костей аватара в юнити, а снимать положение костей и записывать полученные точки в анимации самостоятельно.

Для более точного и плавного захвата перемещения точек изначальное видео замедляется в несколько раз. Это позволяет более детально анализировать движения и фиксировать каждое изменение в позиции, вращении и масштабе точек аватара.

На первом этапе наша программа создает для каждой кости аватара три двумерных списка векторов-позиций, векторов-вращений и векторов-масштаба, в которые будут передаваться перемещения всех точек с транслируемого аватара. Что позволяет получить матрицу, содержащую позиции, вращения и масштаб всех точек в определенный момент времени.

После формирования матрицы данные записываются в три отдельных файла. Фреймы анимации разделяются специальными символами для упрощения идентификации и считывания.

Второй этап – отладка полученных точек. В нем воспроизводим полученную анимацию, считывая данные из файлов и перемещая аватара по захваченным точкам (рис. 1). Использование алгоритмов интерполяции, позволяет избежать резких скачков и обеспечивает естественность движений. Если точки захвачены успешно и соответствуют ожидаемому результату, то переходим к следующему шагу.



Рис. 1. Результат воспроизведения анимации по точкам

Для корректной записи вращений в файл используются кватернионы – это упорядоченная четверка действительных чисел, содержащая в себе информацию о скаляре и трехмерном векторе [6]. Однако анимационные файлы возможно записать только с использованием углов Эйлера, которые представляют собой три угла поворота вокруг осей координат (обычно X, Y и Z) [6]. В третьем шаге полученные результаты нормализуются, для обеспечения корректной работы с кватернионами и углами Эйлера из-за особенностей представления вращения в трехмерном пространстве.

Допустим, у нас есть вектор вращения в углах Эйлера [30, 30, 30], который соответствует кватерниону [0.3, 0.2, 0.2, 0.9]. При переводе этого кватерниона обратно в углы Эйлера мы можем получить не только [30, 30, 30], но и [390, 30, 30] или [30, 390, 30]. Это создает аномалии при воспроизведении анимаций, когда в любой момент времени случайная часть аватара поворачивается на 360 градусов. Это происходит потому, что кватернионы позволяют вращаться на любое количество полных оборотов (360 градусов) без изменения конечного положения. К тому же, все отрицательные углы в юнити после перевода

из углов Эйлера в кватернион и обратно становятся положительными. То есть после такого преобразования -10 превращается в 350 градусов. Что опять же вносит искажения в анимации.

Чтобы устранить эту проблему, используем нормализацию векторов вращения, приводя разницу между текущими и предыдущими углами вращения к диапазону от -180 до 180 градусов. Такой подход позволяет избежать резких разворотов и обеспечивает наиболее плавное движение аватара. Например, если одна часть тела аватара должна повернуться на 350 градусов по сравнению с предыдущим состоянием, вместо того чтобы интерпретировать это как большой поворот вперед, рассматриваем его как небольшой поворот назад (-10 градусов), что делает анимацию более естественной.

На четвертом этом этапе проходим по всем дочерним объектам, которые участвуют в анимации и собираем информацию о его позиции, вращении и масштабе в каждый момент времени. Далее для каждой кости создаются отдельные списки ключевых кадров для каждой оси: X, Y и Z. На основе собранных ключевых кадров создаются анимационные кривые (рис. 2). Эти кривые представляют собой математическое описание изменений позиций, вращений и масштабов во времени. Они позволяют интерполировать значения между ключевыми кадрами, что делает анимацию наиболее плавной и естественной. После создания кривых, они записываются в анимационный клип и сохраняются в файл.

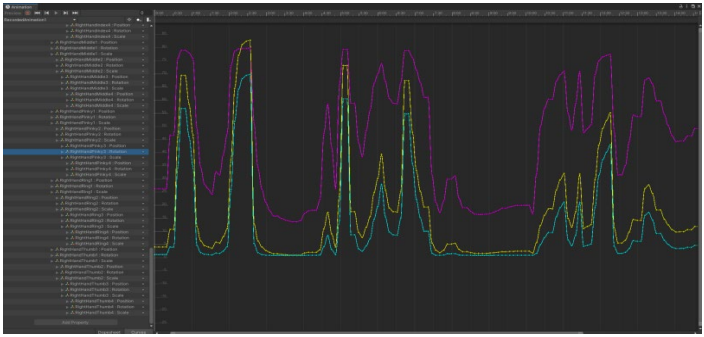


Рис. 2. Анимационные кривые мизинца правой руки

Эти четыре этапа позволяют считать, нормализовать и записать движения с видео в анимационный файл (рис. 2) подходящий для использования в приложениях даже на слабых устройствах.

3. Заключение

В конечный алгоритм создания анимаций вошло считывание перемещений аватара, первичная отладка полученной анимации с использованием алгоритмов интерполяции, нормализация векторов вращения и создание фреймов и анимационных кривых. Такое решение позволило создать анимации без ручного вмешательства подходящего качества для дальнейшего их использования при решении задачи создания приложения для перевода русского языка на русский жестовый язык. В перспективе можно достичь более высокой автоматизации путем совмещения процессов и увеличения количества создаваемых анимаций за раз.

Список литературы

1. MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking [Электронный ресурс] / Zhang, Fan., et al. // CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality, Seattle, WA, USA. – 2020. – Режим доступа : https://arxiv.org/abs/2006.10214.
2. Online Detection and Classification of Dynamic Hand Gestures with Recurrent 3D Convolutional Neural Networks / P. Molchanov et al. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – P. 4207–4215.
3. Кватернионы, их представление и применение. Кватернионы и повороты пространства [Электронный ресурс] : Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика – Режим доступа : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36794206
4. HaGRID – HAnd Gesture Recognition Image Dataset [Электронный ресурс] / A. Kapitanov, A. Makhlyarchuk, K. Kvanchiani. // IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. – 2022. – Режим доступа : https://arxiv.org/abs/2206.08219.
5. Grif, M. G. Recognition of Isolated Gestures of the Russian Sign Language Based on the Component Approach / M. G. Grif, Y. K. Kondratenko. – DOI: 10.1109/APEIE59731.2023.10347694. // XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) – Novosibirsk, 2023. P. 1510-1513.
6. Гордеев, В. Н. Кватернионы и бикватернионы в геометрии и механике с приложениями / В. Н. Гордеев ; Киев: Издательство "Сталь", 2016. – 316 с.
7. Хнюнин, М. В. Разработка алгоритма предварительной обработки видео для увеличения точности классификации жеста глухих нейросетью / М. В. Хнюнин, М. Г. Гриф // Информатика: Проблемы, Методы, Технологии. Материалы XXIV Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова. – Воронеж, 2024. – С. 1269-1275.
8. Торн, А. Основы анимации в Unity / пер. с англ. Р. Рагимова. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 176 с.: ил.

Применение алгоритма нечеткого случайного леса для классификации причин возвратов товара

В.Н. Зубарева, e-mail: zubarvikaaa@mail.ru[6]
О. В. Булыгина, e-mail: baguzova_ov@mail.ru[1]
Б. В. Окунев, e-mail: ok-bmv@rambler.ru[1]

[1]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

Аннотация. *В статье предложен подход к классификации причин возврата товаров в розничной торговле с использованием алгоритма случайного леса, а также рассмотрено применение нечетких деревьев решений для повышения точности и интерпретируемости построенных моделей. Описывается процесс подготовки данных, обучения моделей, оценки их эффективности и анализа важности признаков. Уделено внимание проблемам неопределенности и зашумленности данных, характерным для задач классификации причин возвратов, и показано, как метод нечетких деревьев может улучшить результаты. Рассмотрены сильные и слабые стороны алгоритма случайного леса, такие как высокая точность и устойчивость к переобучению, а также вычислительные затраты и сложности интерпретации модели. В качестве реализации алгоритма использован язык Python с библиотеками pandas, numpy, scikit-learn и fuzzydecisiontree, что позволяет эффективно решать задачу классификации и анализа причин возврата товаров.*

Ключевые слова: *возвраты товаров, машинное обучение, случайный лес, нечеткие деревья решений, классификация.*

Введение

Возвраты товаров являются одной из ключевых проблем в современной розничной торговле, особенно в условиях стремительно развивающегося рынка электронной коммерции. Неправомерные или ненадлежащие возвраты наносят значительный финансовый ущерб компаниям, увеличивая логистические затраты и снижая прибыль. Понимание причин возвратов помогает компаниям не только сократить убытки, но и повысить качество продукции, улучшить клиентский опыт и оптимизировать логистические бизнес-процессы. Однако в условиях недостаточного качества (полноты, объективности и т.п.) данных о возвратах возникает необходимость в использовании современных

© Зубарева В.Н., Булыгина О.В., Окунев Б.В., 2025

методов машинного обучения для проведения классификации и анализа их причин.

Одним из перспективных инструментов для решения задач классификации является алгоритм случайного леса (RandomForest), который использует ансамбль решающих деревьев для достижения высокой точности результатов. Этот метод позволяет успешно работать с большими объемами данных, характеризующими как количественные, так и категориальные признаки, а также решать задачи в условиях неполноты, неточности, зашумленности данных. В частности, случайный лес может быть успешно применен для анализа возвратов товаров, классифицируя их причины на основе исследования множества разнотипных параметров, таких как характеристики товара, поведение клиентов, детали транзакций и другие.

Сложность анализа возвратов заключается не только в большом объеме и разнородности данных, но и в трудоемкости процессаидентификации причин возврата. В связи с этим, для повышения эффективности анализа и классификации может быть использован подход, основанный на теории нечетких множеств, который дает возможностьстроить нечетких деревьев решений (fuzzydecisiontrees). Этот метод позволяет учитывать информационную неопределенность, вводя гибкость в принятие решений, что особенно важно при анализе ситуаций, в которых причины возврата товара не всегда могут быть четко определены.

Целью данного исследования является оценка эффективности алгоритма случайного леса для классификации причин возврата товаров, а также исследование возможности применения нечетких деревьев решений для улучшения точности и интерпретируемости моделей. В рамках исследования будут рассмотрены этапы подготовки данных, обучение моделей, оценка их точности и анализ преимуществ и недостатков подходов на основе случайного леса и нечетких деревьев решений в контексте задачи классификации причин возвратов.

1. Теоретическое описание алгоритма случайного леса для классификации причин возвратов товара

Алгоритм случайного леса (RandomForest) представляет собой мощный инструмент машинного обучения, относящийся к классу ансамблевых методов, и широко применяется для решения задач классификации и регрессии [1]. Его основная идея заключается в создании большого числа решающих деревьев, каждое из которых обучается на случайной подвыборке данных, полученной с использованием метода бутстрапа (Bootstrap). Важной особенностью алгоритма является выбор случайного подмножества признаков для

каждого узла дерева, что позволяет снижать корреляцию между деревьями и повышать общую устойчивость модели.

Разработанный Лео Брейманом в 2001 году алгоритм случайного леса является усовершенствованием метода Bagging (BootstrapAggregating), который уже зарекомендовал себя как эффективный способ уменьшения переобучения и повышения точности предсказаний. В отличие от классическогоBagging, случайный лес использует случайное подмножество признаков при построении деревьев, что позволяет увеличить разнообразие моделей в ансамбле и улучшить производительность [2].

Алгоритм случайного леса агрегирует результаты всех деревьев, применяя метод голосования для задач классификации и вычисление среднего значения для задач регрессии. Этот подход обеспечивает высокую точность предсказаний, устойчивость к шумам в данных и стабильность результатов даже на сложных или высокоразмерных наборах данных.

Рассмотрим ключевые этапы построения случайного леса:

1. Загрузка данных:подготовка данных для последующего анализа.

2. Формирование случайной выборки: для каждого дерева случайным образом выбирается подмножество исходных данных.

3. Построение дерева решений: дерево формируется до тех пор, пока не будет выполнено одно из условий останова.

4. Получение прогнозных результатов: для каждого построенного дерева решений получаются прогнозы.

5. Голосование: для каждого прогнозируемого результата выбирается наилучший признак, выполняется разбиение дерева, и процесс продолжается.

6. Итоговый прогноз: результатом является прогноз, получивший наибольшее количество голосов.

Для реализации алгоритма случайного дерева необходима формула итогового классификатора (1):

$$a(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} b_i \qquad (1)$$

N – количество деревьев; i – счетчик для деревьев; b – решающее дерево; x – сгенерированная нами на основе данных выборка.

Для любого алгоритма классификации важным шагом является расчёт ошибки, которая позволяет оценить эффективность модели. Ошибка классификации может быть определена как доля неверных предсказаний, то есть количество объектов, для которых модель

предсказала неверный класс, делённое на общее количество объектов в тестовой выборке.

В случае алгоритма случайного леса ошибка классификации может быть рассчитана с использованием следующей формулы (2):

$$E = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} II(y_i \neq \hat{y}_i) \quad (2)$$

E – ошибка классификации; N – количество объектов в тестовой выборке, y_i – истинный класс объекта i, $\hat{y}_i$ – предсказанный класс для объекта i, II — индикаторная функция, равная 1, если условие внутри скобок выполняется (т.е. если $y_i \neq \hat{y}_i$) и 0 в противном случае.

Использование формулы (2) позволяет оценить точность модели на тестовых данных и понять, насколько хорошо алгоритм случайного леса справляется с поставленной задачей классификации.

Прежде чем выбрать алгоритм случайного леса для классификации причин возвратов товаров, важно рассмотреть его сильные и слабые стороны. Этот алгоритм обладает рядом преимуществ, которые делают его эффективным инструментом для работы с различными типами данных, но также имеет определённые ограничения, которые могут повлиять на его применение в конкретных задачах. В таблице 1 рассмотрены ключевые преимущества и недостатки использования случайного леса в данной области.

Использование алгоритма случайного леса для классификации причин возвратов товаров позволяет эффективно работать с большими и сложными наборами данных, включающими различные категории признаков, такие как характеристики товаров, демографические данные клиентов, информацию о транзакциях и условиях доставки.

Однако, наряду с многочисленными преимуществами, алгоритм случайного леса имеет определённые ограничения. Например, высокая вычислительная сложность, потребление памяти, а также сложность интерпретации модели могут стать препятствием для его широкого применения в некоторых ситуациях. Случайный лес также может быть чувствителен к несбалансированным данным, что требует использования специальных методов балансировки классов. Для преодоления этих ограничений и улучшения интерпретируемости моделей, особенно в задачах, где данные быть недостаточно полными, точными, объективными и т.п., можно применить подходы, основанные на теории нечетких множеств.

Таблица 1

Преимущества и недостатки использования алгоритма случайного леса для классификации причин возвратов товара

Преимущества	Недостатки
Высокая точность: алгоритм обеспечивает точную классификацию, объединяя предсказания множества деревьев, что снижает вероятность ошибки из-за переобучения отдельных деревьев.	Высокая вычислительная сложность: обучение и предсказание с использованием большого числа деревьев могут быть медленными, особенно на очень больших наборах данных.
Устойчивость к переобучению: за счёт случайного выбора признаков и данных для обучения деревьев алгоритм менее подвержен переобучению, особенно на больших наборах данных.	Потребление памяти: хранение множества деревьев требует значительного объёма памяти.
Работа с нелинейными данными: алгоритм эффективно справляется со сложными нелинейными зависимостями в данных.	Менее интерпретируемая модель: структура случайного леса менее прозрачна, чем у простых алгоритмов, таких как логистическая регрессия или дерево решений.
Интерпретируемость: важность признаков, рассчитанная алгоритмом, помогает понять, какие факторы влияют на классификацию.	Чувствительность к несбалансированным данным: при сильно несбалансированных классах модель может склоняться к более частому классу, если не использовать специальные методы балансировки.
Гибкость: алгоритм может работать с данными, характеризующими как числовые, так и категориальные признаки.	Ограниченная экстраполяция: алгоритм не подходит для задач регрессии, где требуются предсказания за пределами диапазона обучающих данных.
Работа с пропущенными данными: алгоритм может обрабатывать пропущенные значения за счёт случайной замены или модификации выборки.	-

Предлагается воспользоваться методом нечетких деревьев решений (fuzzydecisiontrees), который расширяет стандартные деревья решений, учитывая степень принадлежности объектов к различным классам [3].

Нечеткие деревья решений, в отличие от классических, позволяют работать с неполными, неточными или неопределёнными данными [4]. Этот метод вводит степень принадлежности объектов не только к одному классу, но и к нескольким, что даёт возможность лучше моделировать сложные ситуации и учитывать неопределённости, характерные для реальных бизнес-процессов. Применение нечетких деревьев решений в задачах классификации причин возвратов товаров позволяет более гибко и точно предсказывать вероятные причины возвратов, что особенно важно в условиях, когда данные могут быть шумными или содержать субъективные элементы.

Таким образом, комбинирование алгоритма случайного леса с подходами, основанными на теории нечетких множеств, открывает новые возможности для повышения точности и интерпретируемости моделей, применяемых для анализа причин возвратов товаров.

2. Реализация предложенного алгоритма на языке Python

Язык Python был выбран для реализации данной задачи благодаря своей простоте и читаемости кода, что позволяет быстро разрабатывать и прототипировать решения. Лаконичный синтаксис делает Python идеальным для работы с большими объемами данных, а также для понимания логики алгоритмов, что особенно важно в области машинного обучения. Для работы с данными Python предлагает мощные библиотеки, такие как pandas для обработки таблиц и numpy для работы с массивами, а также имеет огромный выбор инструментов для анализа и визуализации.

Кроме того, Python является одним из ведущих языков для машинного обучения, поддерживающим различные алгоритмы, включая методы классификации и нечеткие деревья решений, что делает его отличным выбором для решения задачи [5]. Благодаря таким библиотекам, как scikit-learn и fuzzydecisiontree, Python предоставляет мощные инструменты для разработки и оценки моделей машинного обучения. Широкая поддержка, обширная документация и возможность интеграции с другими системами делают Python универсальным и гибким инструментом для решения задач в области искусственного интеллекта и аналитики данных.

При реализации алгоритма случайного леса для классификации причин возвратов товара данного кода необходимо использовать следующие библиотеки:

– pandas: используется для работы с табличными данными (DataFrame);

– numpy: используется для работы с массивами и генерации случайных чисел;

– scikit-learn: используется для масштабирования данных и машинного обучения;

– fuzzydecisiontree: используется для создания и использования модели нечеткого дерева решений.

Реализация алгоритма случайного леса для классификации причин возвратов товара с использованием метода нечетких деревьев решений (fuzzydecisiontrees) на языке Python представлены в виде псевдокода (листинг 1).

Листинг 1

Класс «Алгоритм обучения модели нечеткого дерева решений»

```
НАЧ
ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ:
количество_записей = 500
    данные =
сгенерировать_или_загрузить_данные(количество_записей)
создать_таблицу_данных(данные)
целевая_переменная = return_reason
    признаки =
удалить_целевую_переменную_и_идентификаторы(данные)
преобразовать_категориальные_данные_в_числовые(признаки)

    # Разделение данных на обучающую и тестовую выборки
X_обучающая, X_тестовая, y_обучающая, y_тестовая =
разделить_данные_на_обучающую_и_тестовую_выборки(данные)

    # Создание модели нечеткого дерева
    модель = создать_модель_нечеткого_дерева_решений()
настроить_модель(модель)

ПРОЦЕСС_ОБУЧЕНИЯ_МОДЕЛИ:
обучить_модель(модель, X_обучающая, y_обучающая)

ПРОЦЕСС_ПРЕДСКАЗАНИЯ:
    предсказания = предсказать_на_тестовой_выборке(модель,
X_тестовая)

ПРОЦЕСС_ОЦЕНКИ_МОДЕЛИ:
    точность = вычислить_точность(предсказания, y_тестовая)
вывести_точность(точность)

матрица_ошибок = вычислить_матрицу_ошибок(предсказания,
y_тестовая)
```

```
вывести_матрицу_ошибок(матрица_ошибок)

отчет_о_классификации =
вычислить_отчет_о_классификации(предсказания, у_тестовая)
вывести_отчет_о_классификации(отчет_о_классификации)

# Оценка ошибки классификации
ошибка_классификации = 1 - точность
вывести_ошибку_классификации(ошибка_классификации)

ПРОЦЕСС_ОЦЕНКИ_ВАЖНОСТИ_ПРИЗНАКОВ:
важности_признаков = вычислить_важности_признаков(модель)
отсортировать_важности_по_убыванию(важности_признаков)
вывести_важности_признаков(важности_признаков)

КОН
```

Этот код реализует процесс обучения модели машинного обучения для классификации причин возврата товаров. Он включает в себя несколько ключевых этапов: генерацию данных, преобразование категориальных признаков в числовые, разделение данных на обучающую и тестовую выборки, обучение модели нечеткого дерева решений (FuzzyDecisionTree) и оценку его точности. Модель оценивает, насколько хорошо она предсказывает причину возврата товара на основе различных признаков (например, стоимость заказа, количество дней с момента покупки до возврата и т.п). Далее проводится анализ результатов, включая определение матрицы ошибок, точности классификации, формирование отчета о результатах для каждой категории, а также расчет ошибки классификации.

Результатом работы алгоритма является набор метрик, которые помогут понять, насколько точно модель предсказывает причины возврата. Основные выводы, которые можно будет получить: точность модели (сколько процентов предсказаний были правильными), матрица ошибок (которую можно использовать для детального анализа типов ошибок, например, предсказанных возвратов в неправильной категории), ошибка классификации (которая позволяет оценить общий уровень неправильных предсказаний), и отчет о классификации, который показывает точность, полноту и F-меру для каждой причины возврата. Важно, что также выводится важность признаков, что позволяет оценить, какие параметры играют наибольшую роль в предсказаниях модели. Это может быть полезно для дальнейшего улучшения модели или принятия решений по управлению логистическими процессами на основе этих признаков.

На рис. 1 представлен пример результата выполнения кода.

```
Accuracy: 0.75
Confusion Matrix:
[[35 15 5 10]
 [8 40 10 7]
 [4 12 50 10]
 [5 8 15 22]]
Classification Report:
              precision    recall  f1-score   support

    Damaged       0.75      0.70      0.72        65
Not as described       0.73      0.74      0.74        65
    Too late       0.69      0.69      0.69        65
Changed mind       0.68      0.75      0.71        65

Accuracy: 0.73
Macro avg       0.71      0.72      0.72       260
Weighted avg    0.72      0.73      0.72       260
```

Рис. 1. Пример результата выполнения кода

Таким образом, реализованный алгоритм с использованием нечеткого дерева решений для классификации причин возврата товаров на языке Python демонстрирует эффективный процесс обучения модели и её оценки. Результаты работы включают точность предсказаний, матрицу ошибок, ошибку классификации и отчет о классификации, что позволяет глубже понять, как модель работает на практике. Также анализируются важности признаков, что помогает выявить ключевые факторы, влияющие на предсказания, и таким образом, оптимизировать модель для будущих применений. Это позволяет принимать более обоснованные решения на основе анализа факторов возврата товаров.

Заключение

В данном исследовании предложен метод машинного обучения для классификации причин возврата товаров, который основан на использовании алгоритма случайного леса и нечетких деревьев решений. Случайный лес показал свою эффективность в обработке больших объемов данных и классификации на основе множества факторов, в частности характеристики товаров и поведение клиентов. Несмотря на свои многочисленные преимущества, этот алгоритм имеет ряд ограничений, включая высокую вычислительную сложность и проблемы интерпретации модели.

Для преодоления этих ограничений предложено использование нечетких деревьев решений, которые позволяют учитывать

неопределенность и субъективность данных, что особенно важно в условиях, когда причины возврата товара могут быть не всегда четко определены. В результате комбинирования этих методов удалось повысить точность предсказаний и улучшить интерпретируемость модели, что открывает новые возможности для более эффективного анализа возвратов и принятия обоснованных бизнес-решений.

Реализация предложенного подхода на языке Python продемонстрировала успешное применение алгоритмов машинного обучения в задаче классификации причин возврата товаров. Полученные результаты позволяют глубже понять ключевые факторы, влияющие на возвраты, что может помочь компаниям оптимизировать бизнес-процессы, повысить клиентский опыт и снизить финансовые потери, связанные с возвратами.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект №FSWF-2023-0012.

Литература

1. Кириллова, Е.А. Нейро-нечеткая модель ресурсного обеспечения инновационной деятельности промышленного предприятия / Е. А. Кириллова, А.Ю. Пучков, В.С. Минин, Д.Д. Ярцев // Прикладная информатика. – 2024. – Т. 19. – №5. – С. 126-142.

2. Пучков, А.Ю. Метод прогнозирования оттока клиентов банка на основе ансамблевой модели машинного обучения / А.Ю. Пучков, М.И. Дли, М.А. Василькова, Н.Н. Прокимнов // Прикладная информатика. – 2024. – Т. 19. – №1. – С. 5-27.

3. Булыгина, О.В. Направления гибридизации алгоритмов роевого интеллекта и нечеткой логики для решения оптимизационных задач в социально-экономических системах / О.В. Булыгина, Д.Д. Ярцев, Н.Н. Прокимнов, Е.К. Верейкина // Прикладная информатика. – 2024. – Т.19. – №5. – С.45-67.

4. A New Random Forest Ensemble of Intuitionistic Fuzzy Decision Trees // researchgate. – [Электронныйресурс] – Режимдоступа :URL: https://www.researchgate.net/publication/365117475_A_New_Random_Forest_Ensemble_of_Intuitionistic_Fuzzy_Decision_Trees (датаобращения: 17.01.2025).

5. Дли, М.И. Нечеткая динамическая онтологическая модель для поддержки принятия решений по управлению энергоемкими системами на основе прецедентов / М.И. Дли, М.В. Черновалова, А.М. Соколов, Э.В. Моргунова // Прикладная информатика. – 2023. – Т. 18. – №5. – С. 59-76.

Анализ методов распознавания маусинга в русском жестовом языке

Д. С. Константинов, email: d7hdmk@gmail.com [1]
М. Г. Гриф, email: grifmg@mail.ru [1]
О.О. Королькова, email: ookorol@mail.ru [2]

[1] Новосибирский государственный технический университет
[2] Новосибирский государственный педагогический университет

Аннотация. *В работе формулируется актуальная проблема распознавания немануального компонента высказываний на русском жестовом языке. Авторами проводится сопоставительный анализ современных зарубежных моделей визуального распознавания маусинга, на основании которого делается вывод о возможном способе решения проблемы распознавания маусинга в русском жестовом языке.*

Ключевые слова: *визуальное распознавание речи, русский жестовый язык, немануальный компонент, маусинг.*

Введение

В настоящее время в России насчитывается более 13 миллионов человек с нарушениями слуха, в том числе более 1 миллиона детей [1]. Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) по слуху используют в качестве средства общения русский жестовый язык (РЖЯ), который не всегда известен коммуницирующими с ними слышащими людьми. Для решения социально значимой проблемы безбарьерной коммуникации разрабатываются системы распознавания жестовой речи.

Определенные трудности для специалистов создает то, что жест РЖЯ не является неделимым, а состоит из таких компонентов, как:

1) конфигурация кисти руки;
2) локализация;
3) направление движения;
4) характер движения;
5) немануальный компонент [2].

Известные программы распознавания жестовой речи позволяют выявить специфику мануального компонента жеста, в то время как немануальный компонент, не связанный с движением рук, включающий движения головы и туловища, взгляд, выражение лица и маусинг [3], остается менее изученным лингвистами и, соответственно, отраженным

© Константинов Д. С., Гриф М. Г., Королькова О. О., 2025

в соответствующих моделях визуального распознавания высказываний на жестовом языке.

Таким образом, актуальность тематики статьи определяется необходимостью создания условий для безбарьерной коммуникации в обществе, включающих разработку систем визуального распознавания одного из немануальных компонентов жеста – маусинга.

Целью данной работы является выбор пути решения проблемы распознавания одного из немануальных компонентов (маусинга) в РЖЯ.

1. Роль маусинга в различении жестов РЖЯ

Маусингом называется артикуляция слова или его части, сопровождающая исполнение жеста в жестовом языке [3].

В зарубежных исследованиях жестовых языков с конца XX в. стал использоваться термин multi-channel signs (многоканальные жесты) для названия жестов, исполнение которых сопровождается маусингом; в работах отечественных лингвистов данный термин используется редко [4].

В РЖЯ выделяют два вида маусинга:

1) беззвучное произнесение полного слова: например, при исполнении жеста ЗЕЛЁНЫЙ артикулируется слово “зелёный”;

2) беззвучное произнесение части слова, например, при исполнении жеста УЧИТЬСЯ артикулируется слово “учи”.

Маусинг позволяет различить значения, передаваемые одинаково исполняемыми жестами, например, совпадающие по исполнению жесты ЗЕЛЁНЫЙ и МОЛОДОЙ отличаются только маусингом.

Несмотря на значимость немануального компонента для понимания высказываний на жестовых языках, недостаточное количество современных исследований жестов и жестовой речи посвящено проблеме распознавания маусинга.

При решении данной проблемы необходимо разрабатывать методы считывания слов по губам и методы визуального распознавания отдельных частей жестов.

На первом этапе работы целесообразнее решать задачу по распознаванию слов по губам, так как артикуляция целого слова в РЖЯ используется достаточно часто.

Таким образом, задача по распознаванию маусинга в РЖЯ является весьма актуальной.

2. Анализ моделей визуального распознавания речи

Для звукового русского языка в Санкт-Петербургском Федеральном исследовательском центре Российской академии наук разработана система визуального распознавания для 62 фраз [5]. Однако для

распознавания маусинга в контексте распознавания РЖЯ необходимо значительно большее количество слов. По этой причине производится сравнительный анализ моделей по визуальному распознаванию речи на иностранных языках.

В зарубежных источниках были найдены следующие современные модели визуального распознавания речи на иностранных языках:

1) VSR;
2) TM;
3) ALR.

Модель VSR включает трёхмерный (3D) свёрточный слой с рецептивным полем, охватывающим пять кадров, за которым следует двумерная (2D) сеть ResNet-18, 12-слойная модель Conformer и декодер на основе трансформера. Обучение модели осуществляется сквозным образом с использованием комбинации потерь CTC (connectionist temporal classification) и механизма внимания [6].

Модель TM (transformer model) имеет архитектуру энкодер-декодер с многоголовочными слоями внимания. Входной тензор энкодера одновременно используется как запросы, ключи и значения, а декодер обращается к выходам энкодера и предыдущим слоям декодера через механизм мягкого внимания [7]. Для учёта порядка элементов последовательностей применяются фиксированные позиционные эмбеддинги в виде синусоидальных функций. Модель генерирует вероятности символов, сопоставляемые с эталонными метками, обучаясь с использованием функции потерь на основе перекрёстной энтропии [7].

Схемы архитектур моделей VSR и TM представлены на рис. 1.

Модель ALR состоит из двух модулей: визуальный модуль, который обрабатывает цветные изображения рта, извлекая признаки для каждого кадра и формируя последовательность речевых единиц (VU), а также временной модуль, который основан на архитектуре seq2seq с механизмом внимания [8]. Особенность данной модели – это одновременное обучение на двух функциях потерь: перекрёстной энтропии для последовательности символов и для последовательности речевых единиц (VU), что позволяет учитывать как визуальную информацию, так и временные зависимости [8].

Схема архитектуры модели ALR представлена на рис. 2.

Модели были обучены на наборе данных The Oxford-BBC Lip Reading Sentences 2 (LRS2). Набор данных представляет собой видеофрагменты предложений на английском языке с канала BBC, каждое предложение имеет длину до 100 символов [9].

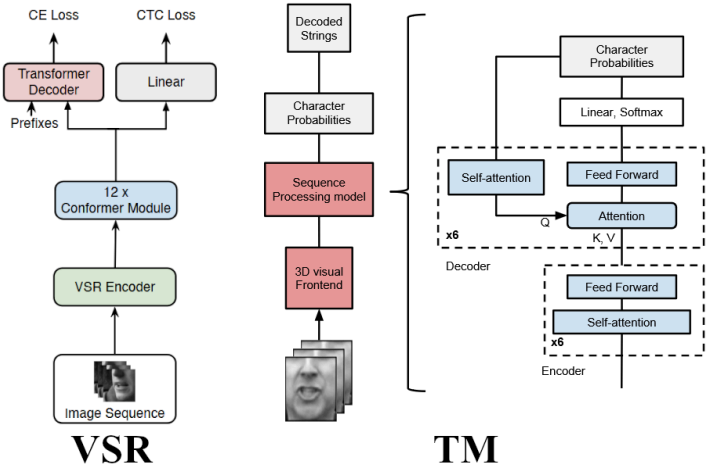


Рис. 1. Схемы архитектур моделей VSR и TM

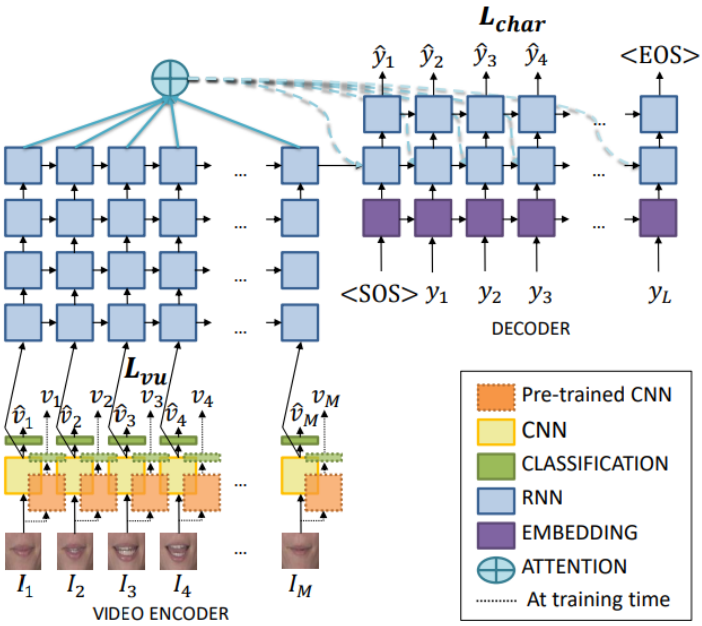


Рис. 2. Схема архитектуры модели ALR

Были сопоставлены результаты частоты ошибок в словах моделей. Частота ошибок в словах является наиболее распространённой метрикой используемой в распознавании речи. Она определяется по следующей формуле (S – количество замен, D – количество удалений, I – количество вставок, необходимых для преобразования предсказанной последовательности в целевую, а N –общее количество слов в целевой последовательности):

$$WER = \frac{S + D + I}{N} \quad (1)$$

В таблице представлены результаты сопоставления моделей.

Таблица

Результаты частоты ошибок в словах моделей

Название модели	Частота ошибок в словах
VSR	29.5
TM	50
ALR	56.29

Из данного сопоставления можно сделать вывод, что модель VSR с визуальным распознаванием иностранного языка справляется лучше.

3. Заключение

В рамках дальнейшей работы для решения проблемы распознавания маусинга в РЖЯ, необходимо переобучить модель VSR для визуального распознавания речи. Для этого необходимо иметь набор данных со словами на русском языке, которые соответствуют жестам. Проблемой является то, что в открытом доступе не существует полноценных наборов данных на русском языке.

Для составления набора данных возможны два пути решения:

1) собрать небольшое количество данные вручную и дополнить их сгенерированными данными;

2) использовать набор данных LRS3, так как в нём содержится небольшой процент слов на русском языке.

Следует отметить, что указанный набор данных ещё не появился в открытом доступе, а также то, что данных может не хватить для полноценного обучения. Из этого можно заключить, что первый путь решения является наиболее подходящим.

Для генерации дополнительных данных предлагается использовать и различные существующие аватарные системы для визуализации РЖЯ. Например, производимые ООО «Адаптис».

Список литературы

1. Ревенко, Е. В. Социально-личностная ситуация в семьях с глухими родителями и слышащими детьми / Е. В. Ревенко // Дефектология в свете современных нейронаук: теоретические и практические аспекты: Сб. материалов I Международной научной конференции, 23–24 апреля 2021 г. / Под общ. ред. Т. Г. Визель. М.: Когито-Центр – Московский институт психоанализа, 2021. – С. 594-599.

2. Давиденко, Т. П. Краткий очерк по лингвистике РЖЯ / Т. П. Давиденко, А. А. Комарова // Современные аспекты жестового языка: сб. статей / сост. А. А. Комарова. – М., 2006. – С.146–161.

3. Введение в лингвистику жестовых языков. Русский жестовый язык: учебник / Коллектив авторов ; под ред. С. И. Бурковой и В. И. Киммельмана. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2023. – 356 с. (Серия «Учебники НГТУ»).»

4. Комарова, А. А. Русский жестовый язык: основные проблемы изучения лексики / А. А. Комарова // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Гуманит. науки. – 2022. – Т. 164, кн. 1–2. – С. 116-134.

5. Аксёнов, А. А. Метод визуального анализа лица водителя для автоматического чтения речи по губам при управлении транспортным средством / А.А. Аксёнов [и др.] // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46. – №. 6. – С. 955-962.

6. Ma, P. Visual speech recognition for multiple languages in the wild /P. Ma, S. Petridis, M. Pantic //Nature Machine Intelligence. – 2022. – Т. 4. – №. 11. – С. 930-939.

7. Afouras, T. Deep lip reading: a comparison of models and an online application / T. Afouras, J. S. Chung, A. Zisserman //arXiv preprint arXiv:1806.06053. – 2018.

8. Fernandez-Lopez, A. End-to-end lip-reading without large-scale data / A. Fernandez-Lopez, F. M. Sukno //IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. – 2022. – Т. 30. – С. 2076-2090.

9. Chung, J. S. Lip reading sentences in the wild / J. S. Chung [etc.] // In Proceedings of the 30th IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2017. – P. 3444–3453.

Автоматическая идентификация таблиц в неструктурированных PDF-файлах

М. В. Лаптев, email: mv@paq.su[1]
Е. В. Котельников, email: kotelnikov.ev@gmail.com[2]

[1] Вятский государственный университет
[2] Европейский университет в Санкт-Петербурге

Аннотация. *В данной работе рассматривается задача автоматической идентификации таблиц в неструктурированных PDF-документах, актуальная для вопросно-ответных и поисковых систем. Проведено сравнение существующих решений для выполнения поставленной задачи. Представлены результаты экспериментов на реальных данных, позволяющие делать выводы о качестве рассматриваемых инструментов и выбрать оптимальный инструмент для решения данной задачи.*

Ключевые слова: *PDF, Unstructured, ChatGPT, GigaChat, Camelot, Pdfplumber, Tabula-py, LLM, OCR, RAG.*

Введение

PDF (Portable Document Format) является одним из наиболее популярных форматов для обмена и хранения документов благодаря его универсальности и стабильности отображения контента на различных устройствах [1]. Однако структура PDF-файлов, изначально ориентированная на визуальное представление данных, создает значительные трудности при автоматизированной обработке содержимого, особенно в случае извлечения табличных данных. Таблицы часто используются для представления ключевой информации, включая финансовые отчеты, статистику и аналитические данные, что делает их важным объектом для анализа.

Проблема извлечения таблиц из неструктурированных PDF-документов актуальна для множества отраслей, включая финансы, здравоохранение, образование и исследования данных. Основными вызовами в этой области являются:

Отсутствие единого стандарта представления таблиц в PDF: они могут быть выполнены в виде текста, графики или комбинации этих элементов.

Вариативность структуры таблиц: разное количество строк и столбцов, сложные заголовки, вложенные таблицы.

© Лаптев М. В., Котельников Е. В., 2025

Шум в данных, такой как неравномерность шрифтов, дополнительные символы или графические элементы.

Кроме того, актуальность данной задачи возросла в связи с популярностью Retrieval-Augmented Generation (RAG) – метода, сочетающего извлечение релевантной информации из внешних источников с генеративными возможностями языковых моделей [2]. В данном контексте правильная идентификация и структурирование таблиц играет ключевую роль, так как качество извлеченных данных напрямую влияет на релевантность и полноту генерации. Некорректное распознавание таблиц может привести к искажению фактов, пропуску ключевой информации или нарушению логической структуры данных, что снижает эффективность RAG.

Целью данного исследования является сравнительный анализ современных инструментов для идентификации и извлечения таблиц из PDF-документов, включая библиотеки и сервисы с нейросетевыми моделями, с точки зрения качества идентификации таблиц и применимости указанных инструментов в реальных задачах. Данная работа призвана оценить качество извлечения таблиц каждым из рассматриваемых инструментов на тестовой выборке, состоящей из документов с различными форматами и структурами таблиц, и определить ограничения каждого инструмента, включая типы таблиц или структуры данных, которые вызывают затруднения.

Результаты исследования позволят выявить наиболее подходящие инструменты для задач, требующих точной обработки табличных данных, и предложить рекомендации по их выбору в зависимости от контекста использования.

1. Обзор существующих методов

PDF-файлы создавались как формат для представления документов в неизменяемом виде, с сохранением их визуального оформления. Однако из-за ориентации на отображение, а не на структурирование данных, PDF-документы представляют собой сложный объект для автоматизированной обработки, особенно при идентификации и извлечении таблиц.

Ключевые сложности идентификации таблиц в PDF-файлах связаны с особенностями их структуры:

– **отсутствие семантической информации.** PDF-файлы хранят данные в виде координат, определяющих расположение текста, графики и других элементов на странице. В отличие от таблиц в табличных форматах (например, Excel), здесь нет метаинформации о строках, столбцах или ячейках;

- **разнообразие форматов таблиц.** Таблицы в PDF могут иметь различную структуру: простую (с регулярной сеткой строк и столбцов) или сложную (с объединенными ячейками, вложенными таблицами, многоуровневыми заголовками). Это требует гибкости в алгоритмах их идентификации;
- **наличие графических элементов.** Линии сетки, фоновые изображения, диаграммы и другие элементы могут мешать корректному определению границ таблиц. Иногда таблицы представлены без явных границ, что еще больше усложняет задачу;
- **качество исходного документа.** Сканированные PDF-документы, низкое разрешение или плохая контрастность ухудшают работу алгоритмов идентификации, особенно в случае инструментов, зависящих от распознавания текста (OCR – Optical Character Recognition);
- **шумы и дополнительные элементы.** Лишние элементы, такие как водяные знаки, декоративные линии или логотипы, могут быть ошибочно распознаны как часть таблицы;
- **языковые особенности.** Форматы данных (например, числа и даты) зависят от региональных стандартов, что требует адаптации алгоритмов к языковым и культурным особенностям документа.

Идентификация таблиц в таких условиях требует рассмотрения как традиционных, так и более современных решений на базе искусственного интеллекта. Современные подходы могут учитывать контекст документа и распознавать таблицы даже в сложных случаях.

Тем не менее, проблемы остаются: даже продвинутые системы могут ошибаться при обработке сложных или нестандартных таблиц. Эти ограничения подчеркивают важность дальнейших исследований в области методов идентификации таблиц, что, в свою очередь, может существенно улучшить эффективность извлечения данных, особенно для задач, требующих их интеграции в более сложные системы, например, основанные на RAG-подходе.

Современные подходы к идентификации и извлечению таблиц из PDF-документов можно условно разделить на две основные категории: инструменты, использующие традиционные алгоритмы, и инструменты на основе искусственного интеллекта (ИИ), включая генеративные языковые модели. Каждая из этих категорий имеет свои особенности, преимущества и ограничения.

В случае традиционных алгоритмов преимуществом будет возможность предсказуемой интеграции в автоматизированные

процессы, а недостатком возможная ограниченная гибкость при работе со сложными таблицами. Для инструментов на основе ИИ преимуществом будет учет контекста документа, а недостатком непредсказуемое поведение при работе с различными запросами. Результат идентификации таблиц может сильно варьироваться в зависимости от формулировки запроса, что усложняет повторяемость процесса и интеграцию в автоматизированные системы.

2. Выбор инструментов для идентификации таблиц

Для выполнения сравнительного анализа были выбраны инструменты, которые широко применяются для извлечения таблиц из PDF-документов и представляют различные подходы к решению задачи: от традиционных библиотек, основанных на алгоритмах, до современных моделей искусственного интеллекта. Эти инструменты были отобраны на основе их популярности, функциональных возможностей и доступности.

Традиционные библиотеки:

- **Tabula-py** – Python-обертка для Java-библиотеки Tabula. Используется для извлечения табличных данных на основе координат текста и графических элементов. Подходит для документов с простой структурой таблиц; требует ручной настройки области извлечения [3];
- **Camelot** – Python-библиотека для работы с PDF-документами. Предоставляет гибкость в обработке различных форматов таблиц, но требует настройки под конкретные документы [4];
- **Pdfplumber** – инструмент для детального анализа PDF, позволяющий извлекать текст, графику и табличные данные. Отличается высокой точностью в работе с текстами и сложными таблицами; поддерживает обработку многоуровневых структур [5];
- **Unstructured** – инструмент для извлечения данных из неструктурированных документов, включая PDF. Объединяет OCR и алгоритмы для анализа текста и графических элементов. Подходит для документов со сложной структурой и данными, представленными в виде изображений [6].

Сервисы на основе LLM:

– **ChatGPT** – сервис, в основе которого лежит мощная большая языковая модель (использовалась модель GPT-4o версии от 2024-08-06), способный обрабатывать текстовые данные, включая таблицы, представленные в текстовом формате. Использует контекстный анализ для распознавания структуры таблиц; подходит для документов со сложными и нестандартными форматами [7];

– **Gigachat** – российский аналог ChatGPT с оптимизацией под обработку документов на русском языке (использовалась версия Lite). Учитывает локальные особенности данных (например, числовые форматы и даты); декларируется высокая точность при обработке русскоязычных документов [8].

Инструменты были выбраны с учетом следующих факторов:

– **функциональность:** поддержка различных типов таблиц и структур данных;
– **популярность и поддержка:** наличие активного сообщества и обновляемой документации;
– **доступность:** простота интеграции в рабочий процесс и совместимость с другими библиотеками и платформами;
– **универсальность:** возможность обработки различных типов документов, включая текстовые, графические и сканированные PDF;
– **перспективность:** инновационность подходов, таких как использование искусственного интеллекта.

Для объективного сравнительного анализа инструментов для идентификации таблиц из PDF-документов была разработана шкала оценки, основанная на точности и полноте извлечения данных. Инструменты оценивались по шкале от 1 до 5, где:

Околонулевой результат: таблицы не распознаны, данные утеряны или представляют собой неструктурированный текст.

Частичное извлечение: распознаны отдельные элементы таблиц, но значительная часть данных утрачена, либо же большое количество нетабличных данных определено как табличные.

Удовлетворительный результат: верно идентифицирована большая часть таблиц, но с потерей некоторых элементов.

Хороший результат: практически все таблицы идентифицированы правильно, минимальные потери в данных.

Отличный результат: все таблицы правильно идентифицированы без потери данных.

Традиционные библиотеки, такие как Tabula-py, Camelot, Pdfplumber и Unstructured, оценивались с использованием следующего набора критериев:

– **точность и полнота идентификации таблиц**. Насколько инструмент корректно определяет границы таблицы;

– **сохранение и качество данных.** В случаях потери или изменения табличных данных оценка снижается.

Сервисы на основе LLM ChatGPT и Gigachat предоставляют контекстный подход к распознаванию таблиц, но имеют ограничения,

связанные с размерами контекстного окна. При работе с большими PDF-документами извлечение всех таблиц сразу становилось невозможным. Для преодоления этой проблемы использовались уточняющие вопросы, которые задавались для каждого фрагмента документа, чтобы обеспечить полное покрытие таблиц. При оценке были задействованы следующие критерии:

- **полнота и точность извлечения.** Насколько успешно модель извлекает данные из всех таблиц документа, включая те, что находятся в отдаленных частях документа;
- **адаптивность.** Возможность корректировки оценки на основе уточняющих запросов.

Сервисам ChatGPT и Gigachat были выставлены оценки с учетом необходимости дополнительных уточняющих вопросов для полного извлечения данных. Они продемонстрировали способность корректно распознавать таблицы даже в сложных сценариях, что позволяет им конкурировать с традиционными инструментами.

3. Постановка и проведение экспериментов

Для проведения эксперимента были выбраны два типа документов, представляющих различные сценарии извлечения табличных данных:

Финансовые отчеты крупных компаний (5 шт.):

- были использованы отчеты за 2024 год следующих компаний: Сбербанк, ВТБ (два отчета: сокращенный и полный), Озон и Google;
- эти документы включали как таблицы с четкой структурой, содержащие финансовые показатели, такие как доходы, расходы, активы и обязательства, так и таблицы в виде изображений;
- в среднем в финансовом отчете было 10 страниц и 6 таблиц. Среднее количество строк в таблице 15, среднее количество столбцов – 5. Количество строк в таблицах варьировалось от 4 до 43, столбцов от 2 до 18;
- особенности таблиц: наличие объединенных ячеек, сложных заголовков, многоуровневых структур и числовых данных в разных форматах.

Научные статьи (5 шт.):

- документы представляли собой известные публикации [2, 9-12] с таблицами, иллюстрирующими экспериментальные данные, статистику и результаты исследований;
- в среднем в научной статье было 17 страниц и 8 таблиц. Среднее количество строк в таблице 8, среднее количество

столбцов – 5. Количество строк в таблицах варьировалось от 4 до 62, столбцов от 1 до 12;
- особенности таблиц: отсутствие явных границ, использование текстового форматирования для отделения строк и столбцов.

Документы были отобраны из открытых источников, включая финансовые отчеты крупных компаний и научные публикации из журналов. Форматы документов включали как цифровые PDF (с текстом), так и сканированные файлы (требующие OCR).

В эксперименте была проведена ручная оценка инструментов для извлечения таблиц из PDF-документов по 10 тестовым документам, включавшим финансовые отчеты и научные статьи. Оценки варьировались от 1 до 5 в соответствии с приведенной выше шкалой. На рис. 1 представлены результаты инструментов и их анализ.

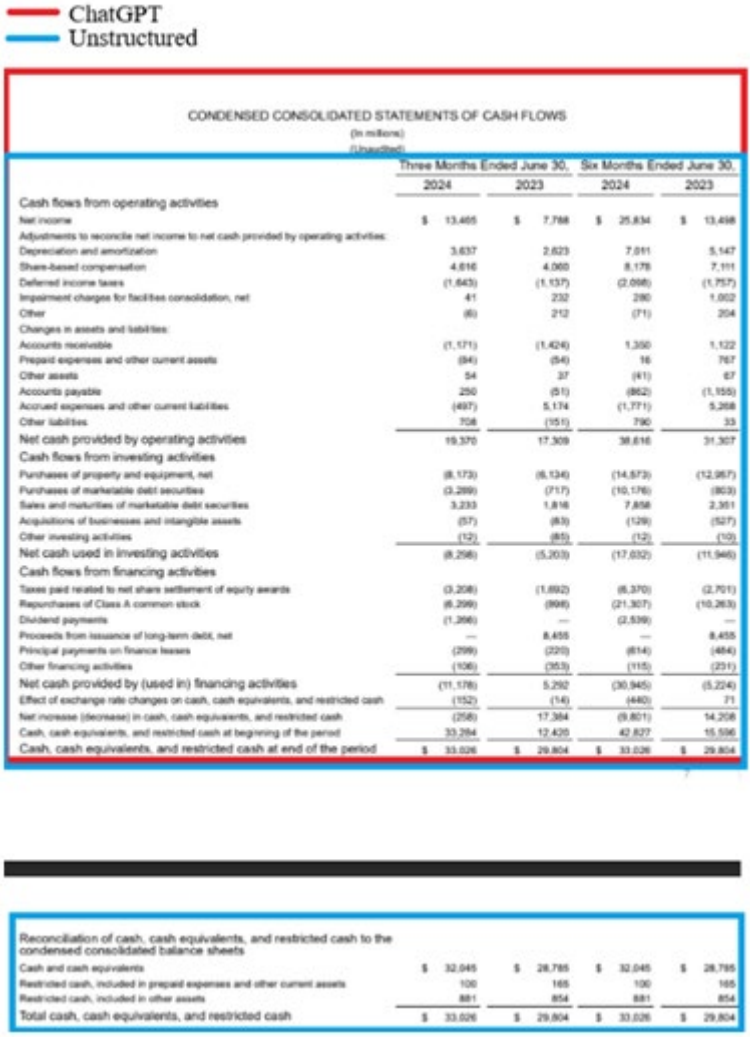
	Tabula-py	Camelot	Pdfplumber	Unstructured	ChatGPT	GigaChat
Сбер	1	1	1	4	1	1
ВТБ (сокр.)	2	3	2	5	5	5
ВТБ (расш.)	2	2	2	4	4	3
Озон	2	3	2	4	4	2
Google	2	3	1	3	4	3
Transformer	2	3	2	4	1	1
BERT	2	3	1	4	5	1
GPT	2	3	1	5	4	2
LLaMa	2	2	1	4	5	2
RAG	2	2	1	5	4	2
Средняя оценка	1.9	2.5	1.4	4.2	3.7	2.2

Рис. 1. Оценка инструментов для извлечения таблиц

При проведении экспериментов были выявлены следующие недочеты:

- **Tabula-py** – низкое качество определения границ таблицы. Даже в простых документах примерно половина определенных таблиц таблицами не являются.
- **Camelot** – аналогичные, но менее выраженные проблемы с определением таблиц.
- **Pdfplumber** – наиболее слабый инструмент из представленных. Помимо аналогичной ситуации с крайне низким качеством определения границ таблицы часто возникала ситуация с разделением слов на границах выделения.
- **Unstructured** – лучший результат среди рассмотренных инструментов. Благодаря использованию OCR достойно справился с графическими таблицами из отчета Сбера, в отличие от конкурентов. Из типичных недостатков можно

выделить редкие потери данных на границах таблиц и разделение единых таблиц на части, что бывает в моменте перехода на следующую страницу.



CONDENSED CONSOLIDATED STATEMENTS OF CASH FLOWS

(In millions)

(Unaudited)

	Three Months Ended June 30,		Six Months Ended June 30,	
	2024	2023	2024	2023
Cash flows from operating activities				
Net income	$ 13,465	$ 7,788	$ 25,834	$ 13,498
Adjustments to reconcile net income to net cash provided by operating activities:				
Depreciation and amortization	3,637	2,623	7,011	5,147
Share-based compensation	4,616	4,060	8,178	7,111
Deferred income taxes	(1,643)	(1,137)	(2,098)	(1,757)
Impairment charges for facilities consolidation, net	41	232	280	1,002
Other	(6)	212	(71)	204
Changes in assets and liabilities:				
Accounts receivable	(1,171)	(1,424)	1,350	1,122
Prepaid expenses and other current assets	(84)	(54)	16	767
Other assets	54	37	(41)	67
Accounts payable	250	(51)	(862)	(1,155)
Accrued expenses and other current liabilities	(497)	5,174	(1,771)	5,268
Other liabilities	708	(151)	790	33
Net cash provided by operating activities	19,370	17,309	38,616	31,307
Cash flows from investing activities				
Purchases of property and equipment, net	(8,173)	(6,134)	(14,573)	(12,957)
Purchases of marketable debt securities	(3,289)	(717)	(10,176)	(803)
Sales and maturities of marketable debt securities	3,233	1,816	7,858	2,351
Acquisitions of businesses and intangible assets	(57)	(63)	(129)	(527)
Other investing activities	(12)	(65)	(12)	(10)
Net cash used in investing activities	(8,298)	(5,203)	(17,032)	(11,946)
Cash flows from financing activities				
Taxes paid related to net share settlement of equity awards	(3,208)	(1,692)	(6,370)	(2,701)
Repurchases of Class A common stock	(6,299)	(998)	(21,307)	(10,263)
Dividend payments	(1,266)	—	(2,539)	—
Proceeds from issuance of long-term debt, net	—	8,455	—	8,455
Principal payments on finance leases	(299)	(220)	(614)	(484)
Other financing activities	(106)	(353)	(115)	(231)
Net cash provided by (used in) financing activities	(11,178)	5,292	(30,945)	(5,224)
Effect of exchange rate changes on cash, cash equivalents, and restricted cash	(152)	(14)	(440)	71
Net increase (decrease) in cash, cash equivalents, and restricted cash	(258)	17,384	(9,801)	14,208
Cash, cash equivalents, and restricted cash at beginning of the period	33,284	12,420	42,827	15,596
Cash, cash equivalents, and restricted cash at end of the period	$ 33,026	$ 29,804	$ 33,026	$ 29,804

Reconciliation of cash, cash equivalents, and restricted cash to the condensed consolidated balance sheets				
Cash and cash equivalents	$ 32,045	$ 28,785	$ 32,045	$ 28,785
Restricted cash, included in prepaid expenses and other current assets	100	165	100	165
Restricted cash, included in other assets	881	854	881	854
Total cash, cash equivalents, and restricted cash	$ 33,026	$ 29,804	$ 33,026	$ 29,804

Рис. 2. Пример работы ChatGPT и библиотеки Unstructured на таблице из отчета Google

- **ChatGPT** – из-за ограничений размера контекстного окна не выводил более трех таблиц, на вопросы о границах таблиц тоже отвечал неоднозначно, легко мог «галлюцинировать» в таких ситуациях. Однако, итоговое понимание материала, выявляемое в ходе дополнительных вопросов, позволило в ряде случаев улучшить оценку. Как правило, если таблица стандартно структурирована, то ChatGPT правильно ответит на прямой вопрос по ней. В иных случаях возможны галлюцинации или неверные ответы из неподходящих ячеек.
- **GigaChat** – по аналогии с ChatGPT было необходимо задавать уточняющие вопросы, однако качество ответов зачастую уступало конкуренту. Даже в случае стандартной структуры таблиц часто возникали серьезные ошибки.

Рассмотрим наиболее успешные инструменты на примере. На рис. 2 изображена таблица из отчета компании Google, красным выделена граница таблицы, определенная ChatGPT, синим выделены границы, идентифицированные библиотекой Unstructured – библиотека определила две таблицы вместо одной. Видно, что разрыв страницы не позволил в этом случае правильно определить границы таблицы обоим инструментам.

По итогам экспериментов было определено, что в условиях реальных данных лучше всего себя показывает библиотека Unstructured, уверенно справляясь как с графическими, так и с текстовыми данными. ChatGPT также отлично себя показывает, однако работает менее стабильно, и пока не может справиться с графическими данными.

Заключение

В ходе проведенного исследования были сравнены различные инструменты для извлечения таблиц из PDF-документов: Tabula-py, Camelot, Pdfplumber, Unstructured, ChatGPT и GigaChat. Тестирование проводилось на двух типах документов: финансовых отчетах крупных компаний и научных статьях. Основное внимание уделялось точности идентификации таблиц и полноте извлеченных данных. Библиотека Unstructured оказалась наиболее универсальным решением, успешно справляясь как с финансовыми отчетами, так и с научными статьями.

Дальнейшие исследования в этой области будут направлены на правильное выделение таблиц с сохранением соответствующей структуры. Текущая гипотеза состоит в том, что точная идентификация местоположения таблиц в комбинации с LLM могут показать высокую точность для этой задачи.

Список литературы

1. Документация формата PDF [Электронный ресурс] : база данных. – Режим доступа : https://opensource.adobe.com/dc-acrobat-sdk-docs/pdfstandards/PDF32000_2008.pdf.

2. Lewis, P. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, E. Perez // 34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020) – Vancouver, Canada – URL https://arxiv.org/abs/2005.11401.

3. Документация библиотеки Tabula-py [Электронный ресурс] : база данных. – Режим доступа : https://tabula-py.readthedocs.io.

4. Документация библиотеки Camelot [Электронный ресурс] : база данных. – Режим доступа : https://camelot-py.readthedocs.io.

5. Документация библиотеки Pdfplumber [Электронный ресурс] : база данных. – Режим доступа : https://github.com/jsvine/pdfplumber.

6. Документация библиотеки Unstructured [Электронный ресурс] : база данных. – Режим доступа : https://docs.unstructured.io.

7. Документация OpenAI [Электронный ресурс] : база данных. – Режим доступа : https://platform.openai.com.

8. Документация GigaChat [Электронный ресурс] : база данных. – Режим доступа : https://developers.sber.ru/docs/ru/gigachat/models.

9. Vaswani, A. Attention is all you need / A. Vaswani et. al. // Advances in Neural Information Processing Systems, – Pp. 6000-6010.

10. Devlin, J. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / J. Devlin et. al. // NAACL-HLT 2019 (North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies) – Minneapolis, USA – URL https://arxiv.org/abs/1810.04805.

11. Radford, A. Improving Language Understanding by Generative Pre-Training / A.Radford et. al. // OpenAI preprint, 2018. – URL https://cdn.openai.com/research-covers/language-unsupervised/language_understanding_paper.pdf.

12. Touvron, H. LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models / H. Touvron et. al. // Computing Research Repository, 2023. – URL https://arxiv.org/abs/2302.13971.

Сравнение моделей машинного обучения для обнаружения токсичных комментариев на русском языке

С. Н. Нсилулу, email: simonsilulunduli@gmail.com
И. Л. Каширина: kash.irina@mail.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *С ростом онлайн-взаимодействия цифровые платформы сталкиваются с распространением токсичных комментариев, вредных для пользователей и общества. Быстрое и эффективное обнаружение таких комментариев имеет решающее значение для модерации контента и создания инклюзивного цифрового пространства. Целью данного исследования является сравнительное изучение различных типов моделей, использующих контролируемые методы обучения и расширенные текстовые представления для классификации токсичных комментариев. В статье оценивается эффективность этих моделей с использованием таких показателей, как точность, полнота и F1-мера. Результаты показывают, что RuBERT, основанный на архитектуре трансформер, превосходит другие модели с точки зрения точности и обобщения.*

Ключевые слова: *обнаружение токсичных комментариев, трансферное обучение, обработка естественного языка.*

Введение

По мере того, как онлайн-взаимодействие становится все более распространенным, цифровые платформы сталкиваются с растущей проблемой: управлением токсичным контентом. Эти вредоносные комментарии, часто наполненные разжигающими вражду высказываниями, оскорблениями или преследованиями, могут создать враждебную среду для пользователей и нанести ущерб имиджу платформ. Поэтому быстрое и точное обнаружение такого контента становится важнейшим вопросом для модерации и продвижения безопасного и инклюзивного цифрового пространства. Хотя во многих работах уже рассматривались решения на основе ИИ для выявления токсичности комментариев, специфика русского языка с его морфологическим богатством и контекстуальными вариациями затрудняет прямое применение существующих моделей.

В этом исследовании рассматривается широкий спектр моделей, включая FastText, CatBoost с векторизатором TF-IDF, SVM с

© Нсилулу С. Н., Каширина И. Л., 2025

векторизатором Word2Vec, наивный байесовский алгоритм с векторизатором Bag of Words, SVM с TF-IDF, логистическую регрессию с TF-IDF и RuBERT, специально обученных для обработки русскоязычных комментариев. Цель состоит в том, чтобы оценить их работу с точки зрения точности, полноты и F1-меры в контексте бинарной классификации токсичных комментариев. Прикладной аспект исследования заключался в том, чтобы определить, насколько сильно влияет выбор алгоритмов векторизации и классификации на итоговую точность алгоритма.

1. Набор данных

В данном исследовании использовался набор данных Toxic_Russian_Comments, доступный на платформе Hugging Face. Это коллекция русскоязычных комментариев, классифицированных как токсичные и нетоксичные. Набор данных содержит два основных столбца: text, где представлены текстовые комментарии, и label, указывающий на токсичность комментария (0 – нетоксичный, 1 – токсичный).

Общий объем набора данных составляет 248 290 примеров, из которых 223 461 пример входят в обучающую выборку и 24 829 примеров составляют тестовую выборку.

Комментарии охватывают широкий спектр тем: от обычных, нейтральных обсуждений до потенциально вредоносных или оскорбительных высказываний. Данные были предварительно очищены: удалены специальные символы, множественные пробелы и ненужные элементы, такие как URL-адреса.

Колонка (text) содержит предложения на русском языке, которые зачастую носят неформальный характер, включая использование сленга, что отражает реальную манеру общения в интернете. Столбец (label) представляет собой бинарный индикатор токсичности, что делает данный набор данных идеально подходящим для обучения и оценки моделей бинарной классификации.

2. Модели и методы

В данном исследовании были использованы различные типы моделей, перечень которых приведен ниже.

1. Модель FastText, которая использует векторные представления n-грамм для фиксации морфологических закономерностей и поддерживает 157 языков, включая русский. Обучающие данные были отформатированы в специальный файл, как этого требует библиотека fasttext, а классификация была выполнена с использованием встроенного в библиотеке метода контролируемого обучения.

2. Во второй модели для генерации векторов слов из комментариев использовался метод Word2Vec. Затем полученные векторы слов были объединены для создания усредненных представлений текстов, которые были использованы для обучения классификатора SVM (Support Vector Machine).

3. Модель CatBoost представляет собой алгоритм градиентного бустинга, основанный на деревьях решений. В данном исследовании он был объединен с векторизацией TF-IDF для извлечения текстовых признаков.

4. Подход Bag of Words (мешок слов), реализованный в модуле CountVectorizer использовался для преобразования текстов в числовые представления на основе частоты употребления слов. Эти представления затем использовались в качестве основы для обучения мультиномиального наивного байесовского классификатора (NB).

5. Еще один подход сочетал векторизацию TF-IDF с линейной моделью SVM. Этот метод использует взвешенные соотношения частот встречаемости слов для построения модели классификации.

6. Логистическая регрессия использовалась в качестве базовой модели для оценки эффективности векторизатора TF-IDF. Эта линейная модель эффективна для фиксации простых взаимосвязей между признаками и метками, предоставляя быстрый и интерпретируемый метод классификации.

7. Модель RuBERT от DeepPavlov, основанная на трансформере BERT и предобученная на русскоязычных текстах, была доработана для решения задачи бинарной классификации. Модель использует векторные представления текстов, предварительно токенизированные с помощью метода BPE (Byte-Pair Encoding), реализованного в классе AutoTokenizer. Модель была обучена с помощью класса Trainer из библиотеки Transformers.

3. Результаты и обсуждение

Эффективность моделей оценивалась на тестовой выборке по показателям точности, полноты, и агрегированной метрики F1. Результаты представлены в таблице ниже.

Результаты позволяют оценить производительность различных моделей по трем основным метрикам: точность, полнота и F1-мера. Эти метрики анализируются для двух основных классов набора данных: класс 0 (нетоксичные комментарии) и класс 1 (токсичные комментарии).

Таблица 1

Результаты сравнения моделей

Модели	классы	precision	Recall	F1-score
1. FastTest	0	0.97	0.99	0.98
	1	0.95	0.87	0.91
2. Word2Vec + SVM	0	0.93	0.97	0.95
	1	0.85	0.65	0.74
3. CatBosst + TF-IDF	0	0.94	0.99	0.97
	1	0.96	0.73	0.83
4. CountVectorizer + NB	0	0.97	0.97	0.97
	1	0.88	0.86	0.87
5. SVM + TF-IDF	0	0.95	0.99	0.97
	1	0.94	0.74	0.83
6. Logistic Regression + TF-IDF	0	0.94	0.99	0.97
	1	0.95	0.73	0.82
7. RuBERT	0	0.99	0.99	0.99
	1	0.95	0.95	0.95

Модель FastText для класса 0 демонстрирует высокие показатели с точностью 97%, полнотой 99% и F1-мерой 98%. Эти результаты подтверждают отличную способность модели выявлять и правильно классифицировать нетоксичные комментарии, обеспечивая высокую согласованность. Для класса 1 точность составляет 95%, полнота – 87%, а F1-мера – 91%, что свидетельствует о хорошей способности модели определять токсичные комментарии. Однако немного заниженная полнота показывает, что некоторые токсичные комментарии остаются незамеченными.

Модель Word2Vec + SVM для класса 0 достигает точности 93%, полноты 97% и F1-меры 95%, демонстрируя достойную производительность, хотя и немного уступая FastText. Для класса 1 результаты более скромные: точность – 84%, полнота – 65%, F1-мера – 73%. Эти результаты указывают на слабую способность модели выявлять все примеры токсичных комментариев, что ограничивает ее использование в задачах, где приоритетом является обнаружение вредоносного контента.

Модель CatBoost + TF-IDF показывает для класса 0 точность 94%, полноту 99% и F1-меру 97%, демонстрируя отличную способность

обрабатывать нетоксичные комментарии. Для класса 1 метрики также хорошие: точность 96%, полнота 73% и F1-мера 83%. Однако ограниченная полнота указывает на недостаточную способность модели выявлять все токсичные комментарии, что может быть проблематично в средах с высокой чувствительностью.

Модель CountVectorizer + Naive Bayes обеспечивает сбалансированную производительность для класса 0, демонстрируя идентичные показатели точности, полноты и F1-меры – 97%. Для класса 1 метрики составляют точность 88%, полноту 86% и F1-меру 87%, что делает эту модель надежным выбором для задач, где требуется баланс между точностью и полнотой.

Модель SVM + TF-IDF для класса 0 демонстрирует точность 95%, полноту 99% и F1-меру 97%, подтверждая свою высокую производительность. Для класса 1 точность составляет 94%, однако полнота 74% ограничивает способность модели обнаруживать все токсичные комментарии. F1-мера, равная 83%, подчеркивает слабость модели в обработке токсичного класса.

Модель Logistic Regression + TF-IDF показывает результаты, аналогичные SVM + TF-IDF. Для класса 0 точность составляет 94%, полнота – 99%, а F1-мера – 97%. Для класса 1 точность достигает 95%, полнота – 73%, а F1-мера – 82%, что указывает на ограниченную способность модели к полному обнаружению токсичных комментариев.

Модель RuBERT превосходит все другие подходы, демонстрируя практически идеальные результаты для класса 0: точность, полнота и F1-мера составляют 99%. Для класса 1 модель также поддерживает отличный баланс с точностью, полнотой и F1-мерой 95%. Эти результаты отражают уникальную способность RuBERT улавливать сложные нюансы русского языка благодаря его специфической предварительной подготовке.

Заключение

В рамках данного исследования проведён сравнительный анализ моделей машинного обучения для задачи обнаружения токсичных комментариев на русском языке. Использованный набор данных, содержащий 248 290 примеров, позволил объективно оценить производительность моделей по ключевым метрикам: точность, полнота и F1-мера, для двух классов – нетоксичных (0) и токсичных (1) комментариев.

Результаты исследования продемонстрировали, что модель RuBERT превосходит все остальные подходы. Она обеспечивает практически идеальную классификацию нетоксичных комментариев в тестовой выборке (точность, полнота и F1-мера 99%) и демонстрирует

сбалансированную производительность для токсичных комментариев (точность, полнота и F1-мера 95%). Это связано с архитектурой модели, специально адаптированной для русского языка.

Модели, такие как FastText, CatBoost с TF-IDF и SVM с TF-IDF, показали хорошие результаты для класса 0, но их полнота для класса 1 остаётся ограниченной, что снижает их эффективность в задачах, где приоритетом является обнаружение токсичного контента. Подходы, использующие более простые текстовые представления, например, Word2Vec + SVM и CountVectorizer + Naive Bayes, продемонстрировали менее стабильные результаты, особенно для класса 1.

Данное исследование подчёркивает важность использования моделей глубокого обучения, таких как RuBERT, для задач классификации текстов на русском языке. Перспективы дальнейших работ включают разработку подходов для улучшения полноты классификации токсичных комментариев, особенно в условиях несбалансированных данных, а также изучение возможности применения более сложных архитектур, учитывающих многозадачность и сложные языковые особенности.

Список литературы

1. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., Toutanova, K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of NAACL-HLT. – 2019. – С. 4171-4186.

2. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al. Attention is All You Need // Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Т. 30. – С. 5998-6008.

3. Луковников, Д., Поляков, Д., Эремин, Е., и др. RuBERT: адаптированная языковая модель для русского языка. – М.: МФТИ, 2020.

4. Шолле, Ф. Глубокое обучение на Python / Ф. Шолле; СПб: Питер, 2018. – 400 с.

5. Scikit-learn – машинное обучение на Python. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://github.com/scikit-learn(дата обращения: 05.01.2025).

6. xgboost – библиотека машинного обучения. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://xgboost.ai (дата обращения: 07.01.2025).

7. Документация Hugging Face Transformers. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://huggingface.co/transformers (Дата обращения: 09.01.2025).

Технологии искусственного интеллекта в креативных индустриях

В. И. Пименов, email: v_pim@mail.ru [1]
А. А. Прохорова, email: an_prokhorova86@mail.ru [1]
И. В. Пименов, email: i-pim@mail.ru [2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
[2] Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

Аннотация. *Рассматривается применение искусственного интеллекта в креативных индустриях, с акцентом на исследование потребительских предпочтений и тенденций. Затрагиваются генеративные технологии для создания контента и инструменты анализа больших данных, способствующие глубокому пониманию аудитории. Подчеркивается значимость интеграции искусственного интеллекта в креативные процессы и его влияние на будущее индустрии.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, креативные индустрии, анализ данных, кластеризация, тренд.*

Введение

Применение цифровых технологий в креативных индустриях связано с исследованием объектов рекламной коммуникации и визуальной культуры, выявлением и прогнозированием трендов, а также использованием интеллектуальных технологий для создания медиапродуктов и оценки бизнес-проектов.

К ним относятся информационные технологии для исследования рынка потребителей, оценки актуальности и востребованности креативных индустрий, технологии поиска и подготовки данных с описаниями потребительского поведения, объектов визуальной культуры. Ядро цифровых технологий составляют искусственный интеллект и анализ больших данных из открытых датасетов и краудфандинговых платформ, проведение кластерного анализа целевой аудитории и потребительского поведения, построение моделей машинного обучения для прогнозирования и выявление трендов в сфере креативных индустрий, разработка сценариев и создание

© Пименов В. И., Прохорова А. А., Пименов И. В., 2025

мультимедийного контента с помощью генеративных интеллектуальных алгоритмов.

1. Исследование рынка потребителей креативных индустрий

Существующие инструменты оценки актуальности и востребованности бизнес-проектов, такие как wordstat.yandex.ru и trends.google.ru позволяют эффективно анализировать интересы потребительской аудитории и выявлять ключевые тренды. С их помощью определяются наиболее востребованные направления в креативных индустриях, проводится анализ сезонности, а также визуализируются результаты географического анализа (рис. 1).

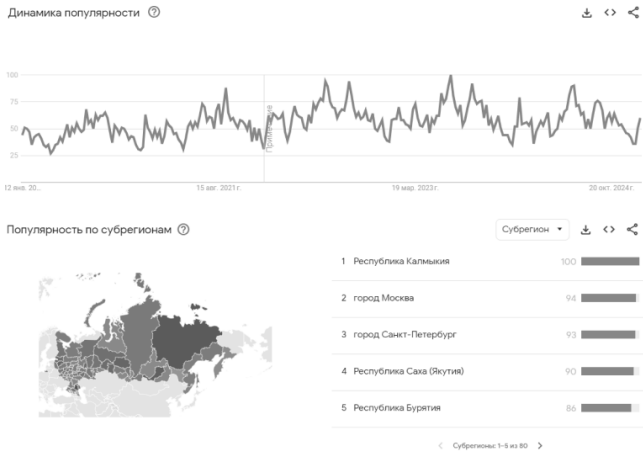


Рис. 1. Динамика популярности и географический анализ запроса «Графический дизайн»

Понимание сезонных колебаний, например, на услуги графического дизайна, позволяет компаниям оптимизировать свои предложения и заранее планировать маркетинговые стратегии в периоды повышенного интереса, а также адаптировать рекламные усилия в регионах с наибольшим спросом. Для эффективного реагирования на изменения рынка важно отслеживать не только сезонные тренды, но и тренд-сигналы. Эти ранние признаки изменений в потребительских предпочтениях помогают компаниям оставаться конкурентоспособными и предлагать инновационные решения [1].

2. Генеративные интеллектуальные технологии

Открытые нейросетевые инструменты, такие как генеративная сеть Stable Diffusion, позволяют создавать изображения по текстовым описаниям и разрабатывать мультимедийные генеративные паттерны – алгоритмы для создания контента. Для эффективного использования генеративных паттернов рекомендуется при создании текстовых запросов к нейросети (промптов) обеспечивать точность определения объектов, стилей и композиций. Можно задавать ограничения для контроля вариативности, использовать термины, соответствующие желаемой семантике контента, и тестировать новые комбинации промптов (рис. 2).



Рис. 2. Генерация вариаций изображения с помощью Stable Diffusion

Инструменты нейросети позволяют генерировать изображения для рекламных кампаний, редактировать и улучшать свои промпты для получения релевантных результатов.

3. Искусственный интеллект и анализ больших данных

Данные о характеристиках креативных продуктов, откликах потребителей являются исходным материалом для структуризации целевой аудитории и оценки потребительского поведения. При проведении машинного обучения данные представляются изначально в числовом виде либо вычисляются на основе текстов и изображений.

Если среди переменных выделяется важный для анализа показатель (количество подписчиков Телеграм-канала, рейтинг креативного продукта, стоимость товара), данные можно использовать для

построения модели машинного обучения с учителем – модели классификации или прогнозирования числового значения.

Входные признаки характеризуют назначение проектируемых изделий, источник вдохновения, количество подписчиков, количество реакций к публикациям, канал распространения (ТВ/интернет/прочие), наличие резонансного события, жанр, бюджет проекта, общее художественное впечатление, выразительность композиции, оригинальность оформления и пр. Выходной показатель характеризует качество, эффективность объекта.

Если переменные в наборе равноценны, то такие данные можно использовать для обучения без учителя – кластеризации данных.

Выполнять интеллектуальный анализ данных и процедуры машинного обучения можно без использования языков программирования с помощью специальных аналитических платформ, например, платформы с открытым исходным кодом Orange [2].

Для примера кластеризации числовых данных рассмотрим 70 Телеграм-каналов различных тематик с наибольшим количеством подписчиков. Каналы в Телеграм позволяют не только распространять информацию, но и активно взаимодействовать с целевой аудиторией. Руководители проектов могут получить прямую реакцию на свои публикации, оценить интерес аудитории, понять её потребности и предпочтения. Это позволяет адаптировать контент под ожидания аудитории и улучшать стратегию продвижения креативного проекта. Высокое количество пересылок может свидетельствовать о вовлеченности аудитории и успешности контентной стратегии.

Телеграм является частью использования маркетинговых технологий для управления проектом и создания нематериальных активов. Платформа предоставляет инструменты как для управления контентом, так для измерения его влияния и формирования имиджа бренда в цифровом пространстве. Это помогает компаниям создавать различные нематериальные активы, такие как лояльность аудитории, узнаваемость бренда и его репутация.

Для исследования использовано 11 числовых и номинальных показателей:

– название канала;
– тематика канала;
– пол аудитории;
– количество подписчиков;
– прирост подписчиков за неделю;
– средний охват публикации (количество просмотров);
– среднее количество пересылок публикаций;

– среднее количество комментариев публикаций;
– среднее количество реакций к публикациям;
– процент подписчиков, читающих посты канала;
– верификация канала.

Используем алгоритм кластеризации k-средних (виджет «k-Means»). Зададим фиксированное число кластеров, равное 5. Визуализацию особенностей кластеров удобно выполнять с помощью самоорганизующихся карт Кохонена [3-4].

Карты признаков «Количество реакций» и «Тематика: блоги» хорошо отделяют кластер С1 от остальных кластеров (рис. 3). Для него преобладают каналы с наибольшим количеством реакций (от 20 000 и выше) и не относящиеся к тематике «Блоги».

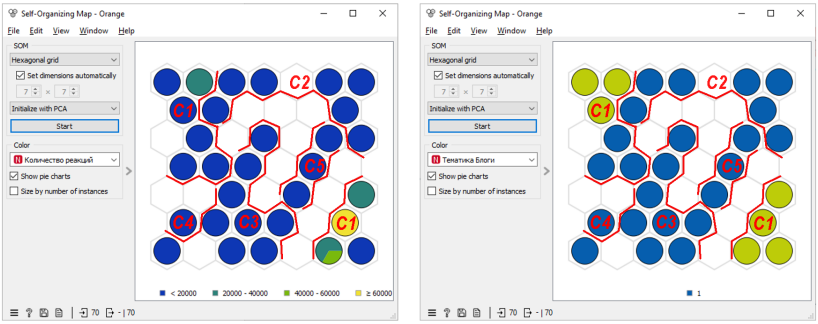


Рис. 3. Карты признаков «Количество реакций» и «Тематика: блоги»

Наиболее значимыми показателями для разделения Телеграм-каналов на группы оказались признаки, отражающие тематики «Блоги», «Политика», «Юмор и развлечения», признак «Пол», а также числовые признаки «Количество реакций», «Количество подписчиков» и «Средний охват поста».

На основании проведенного анализа видно, что наиболее популярными категориями каналов являются «Новости и СМИ», «Юмор и развлечения» и «Блоги». Это отражает актуальные интересы пользователей и их запросы к контенту в данной платформе.

Например, кластер С1 – группа Телеграм-каналов «Официальные блоги и СМИ с высокой обратной связью». Мощность 30 % (21 канал). В 2023 году тематика группы являлась самой популярной. Преобладающая тематика – «Блоги» («Сладков+», «Литвин», «Бустер» и др.). Чуть меньше каналов по тематике «Новости и СМИ». Включает каналы с наибольшим количеством реакций, свыше 15 тыс. («Дима

Масленников», «Kuplinov Play», «Elena Raytman» и др.), ряд каналов с высоким количеством комментариев, свыше 3,4 тыс. («Kuplinov Play», «Elena Raytman» и др.). В каналах преобладает женская аудитория. Отличительной особенностью кластера является наличие верификации практически на всех каналах.

Значительная популярность каналов тематики «Новости и СМИ» подчеркивает стремление пользователей к оперативной и качественной информации. В то же время, каналы тематик «Юмор и развлечения» и «Блоги» демонстрируют спрос на контент, который развлекает и удовлетворяет потребности в разнообразии, а также способен отвлекать от негативных окружающих факторов, например, от негативного новостного фона.

С помощью карт Кохонена или диаграмм распределения значений признаков по кластерам можно сделать вывод о том, каково влияние «входных» признаков (или отсутствие влияния) на выходной показатель.

Используем набор данных в сфере эффективности бизнеса в экономике искусственного интеллекта [5]. Набор содержит статистику по 56 странам мира (как развитым, так и развивающимся) на начало 2023 года, отражающую итоги 2022 года. Пятнадцать входных показателей описывают производительность, стабильность, дружественность, экспертные оценки. Выходным показателем является эффективность бизнеса в баллах от 0 до100. В процессе кластеризации данных было найдено 4 группы стран С1… С4. Диаграммы распределения значений признаков по кластерам, как и карты Кохонена, показывают наличие прямой зависимости между производительностью труда на одного работника в час и эффективностью бизнеса (рис. 4).

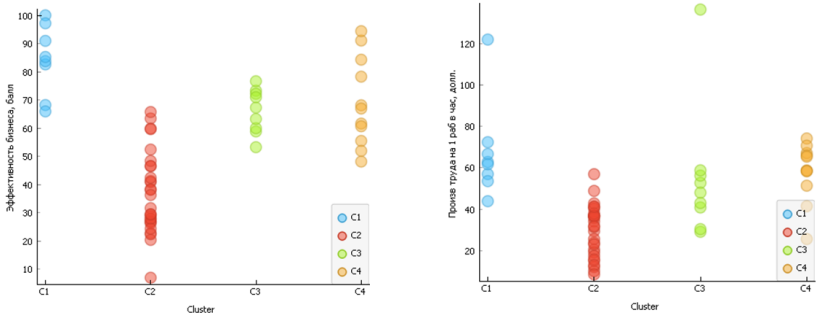


Рис. 4. Выявление зависимостей с помощью диаграмм распределения значений признаков

Кластер C1 – локации с высокой эффективностью бизнеса и производительностью работников (Швеция, Дания, Норвегия и др.). Кластер C2 – локации с наименьшей эффективностью бизнеса и производительностью работников (Аргентина, Бразилия, Румыния и др.). Кластер C3 – локации со средней эффективностью бизнеса (Австралия, Канада, Россия и др.). Кластер C4 – локации с эффективностью бизнеса выше среднего (Франция, Германия, США и др.).

Автоматическая тематическая классификация текстовых корпусов на основе блогов, публикующих статьи в одной предметной области, позволяет создать классификаторы, способные определять тематику неклассифицированных источников, таких как обзоры творческих работ.

Анализ настроения, эмоциональной окраски помогает провести комплексный анализ отзывов, полярности сообщений или реакций. Он может помочь с целевой поддержкой клиентов и повысить эффективность компаний.

Для примера рассмотрим 70 отзывов на фильм 2013 года “Географ глобус пропил”. Корпус структурирован и включает имя пользователя в социальной сети – поле “Пользователь”, название социальной сети или хостинга – поле “Ресурс”, поля “Опубликовано лет назад” и “Отзыв”.

Наиболее часто среди отзывов встречаются слова: Хабенский, фильм, хороший, жизнь; биграммы: хороший фильм, талантливый актер (рис. 5).

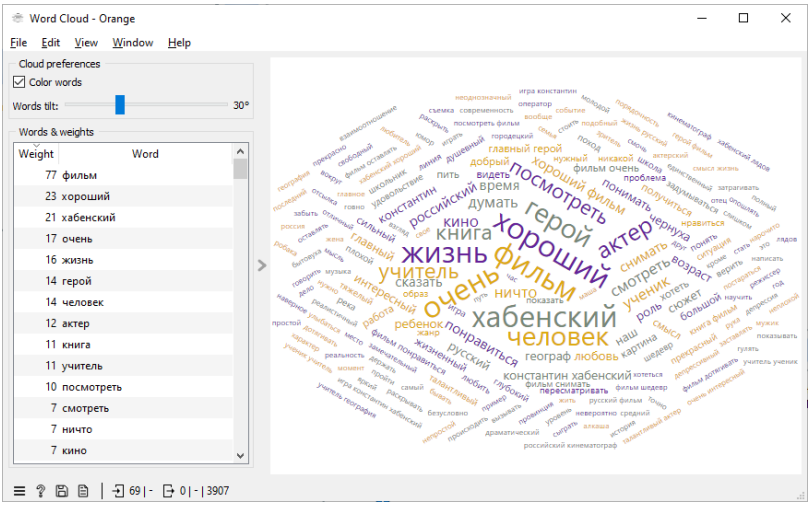


Рис. 5. Облако характерных слов

Значимые словосочетания-биграммы в корпусе: “Константин Хабенский”, “главный герой”, “фильм понравился”.

Выполним анализ тональности для каждого документа в корпусе. Параметр sentiment принимает значения от –30 до 50. Распределение отзывов пользователей можно наблюдать на аннотированной карте кластеров (рис. 6).

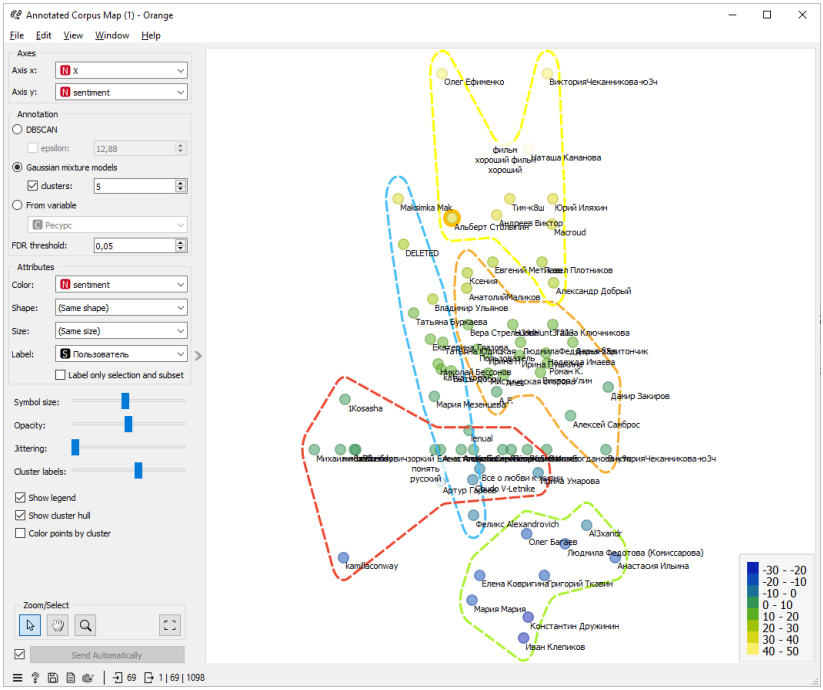


Рис. 6. Карта кластеров векторизованных документов

Отзывы разбиты на 5 кластеров: кластер с отрицательной тональностью, три кластера с нейтральными отзывами и кластер с положительной тональностью.

Отрицательный отзыв Ивана Клепикова с тональностью –25: “Фильм – злая и бездарная пародия на книгу, все мысли и события извращены”. Отзыв оставлен 4 года назад на VK Видео. Положительные отзывы с наибольшей тональностью 50. Олег Ефименко: “Хороший фильм!”. Отзыв оставлен 4 года назад на ok.ru. Виктория Чеканникова: “Интересный фильм”. Отзыв оставлен в текущем году на youtube.

Иерархическая кластеризация отзывов выполняется с помощью тепловой карты (рис. 7).

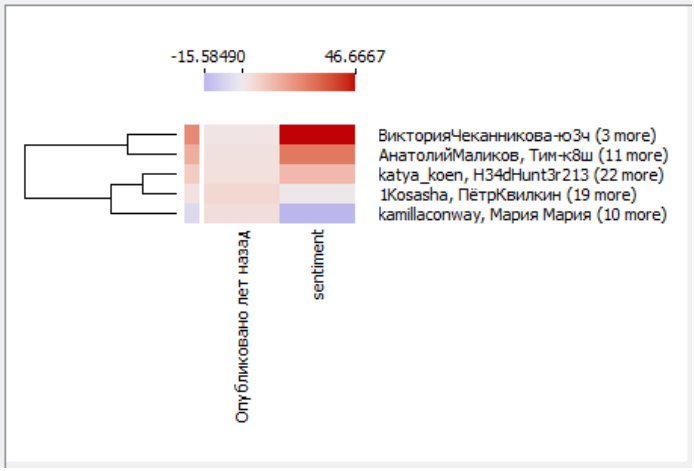


Рис. 7. Тепловая карта

В кластере с самыми негативными отзывами оказалось 11 вариантов. Например, Анастасия Ильина: “Странный фильм. Будто что-то хотели сказать, но забыли, что. Никакая линия не раскрыта до конца, весь сюжет – собрание малоинтересных и неправдоподобных событий”.

Заключение

Применение цифровых технологий в креативных индустриях связано с созданием мультимедийного контента с помощью генеративных интеллектуальных алгоритмов, исследованием объектов рекламной коммуникации и оценкой бизнес-проектов с помощью методов интеллектуального анализа данных и машинного обучения, без необходимости использования языков программирования.

Список литературы

1. Цифровая эволюция: построение трендов на основе методов машинного обучения / М. С. Юрин [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2024. – № 3. С. 57 – 62.

2. Orange Data Mining. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://orangedatamining.com/

3. Supervised Kohonen network with heterogeneous value difference metric for both numeric and categorical inputs / Zhang Yuxian et al. // Soft Computing. – 2020. – No. 24(2). – P. 1763-1774.

4. Jovanović, S., Hikawa, H. A Survey of Hardware Self-Organizing Maps // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – November 2023. – Vol. 34. – Iss. 11. – P. 8154-8173.

5. Smetanin, A.S. Business management in the economy of artificial intelligence. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://figshare.com/articles/dataset/Business_management_ in_the_economy_of_artificial_intelligence_/24993999

Развитие инструментов фреймворка TAWT для работы с текстами на русском языке

Е. В. Полицына, email: kathrin.beaver@mail.ru
С. А. Полицын, email: pul_forever@mail.ru
А. С. Поречный, email: alex.porechny@mail.ru
А. Н. Рыкунов, email: casi.05@mail.ru

Аннотация. *Сделан обзор новых возможностей Java-фреймворка TAWT, предоставляющего программные инструменты и структуры данных основных этапов анализа текста на русском языке. Рассмотрены улучшения инструментов морфологического и семантико-синтаксического этапов анализа. На морфологическом этапе появилась расширенная поддержка работы с именами числительными, на семантико-синтаксическом – появились новые правила сочетаемости частей речи в предложении, – все это позволило повысить качество работы инструментов и увеличило вероятность снятия неоднозначностей при анализе текста. Представлены следующие шаги развития фреймворка в части улучшения алгоритмов анализа текста и его применении в других информационных системах.*

Ключевые слова: *Компьютерная лингвистика, фреймворк, анализ текста, русский язык, морфологический анализ, семантико-синтаксический анализ*

Введение

С продолжающимся ростом объема текстовой информации все более актуальным является развитие инструментов анализа. В современном программном обеспечении (ПО), решающем профессиональные, исследовательские и повседневные задачи людей, функциональность, основанная на использовании методов и алгоритмов компьютерной лингвистики, встречается все чаще, т.к. пользователями ожидается «умное» поведение информационных систем при работе с текстовой информацией.

Однако реализация лингвистических алгоритмов в составе прикладного ПО очень трудоемка, что делает готовые решения особенно важными для компаний, не специализирующихся на лингвистике. Для западноевропейских языков существует множество качественных инструментов, таких как NLTK, GATE и SMOR, однако их поддержка русского языка ограничена. Это создает потребность в

© Полицына Е. В., Полицын С. А., Поречный А. С., Рыкунов А. Н., 2025

специализированных решениях для русского языка, таких как фреймворк TAWT [1], которые учитывают особенности русского языка и соответствуют современным требованиям к информационным системам.

Фреймворк TAWT

Фреймворк TAWT [1] представляет собой специализированный инструмент для анализа текстов на русском языке, разработанный с учётом требований, предъявляемых к промышленным информационным системам. Он учитывает языковые особенности русского языка и включает модули, обеспечивающие выполнение задач всех этапов автоматизированного анализа текстов на естественном языке (графематического, морфологического, синтаксического и семантического). Кроме того, фреймворк содержит модули, предназначенные для решения прикладных задач, перечень которых постоянно расширяется.

TAWT представляет собой гибкую платформу для реализации алгоритмов лингвистического анализа текста на различных уровнях, выполнения прикладных задач и оперативного тестирования гипотез в области компьютерной лингвистики. Его основное назначение – применение в промышленных и исследовательских программных системах с акцентом на быстрые интеграцию и внедрение для реализации алгоритмической обработки текстов или в сочетании с методами машинного обучения.

Постоянное развитие алгоритмов лингвистического анализа, реализуемых в рамках фреймворка, способствует улучшению качества обработки текстовых данных в различных областях. Благодаря регулярному расширению функциональности и добавлению новых модулей, TAWT позволяет решать широкий круг задач, исключая необходимость использования нескольких различных инструментов анализа текста. Фреймворк успешно применяется для разработки приложений автоматизированного анализа текста и специализированных прикладных систем.

Развитие модуля графематического анализа

Функциональность инструмента GraphematicParser была расширена методами для токенизации с сохранением знаков пунктуации и пробелов, реализованными по аналогии с методами, которые делят текст на естественном языке на токены, учитывая только слова. Новые методы позволяют токенизировать тексты, сохраняя их в структуру одного из следующих четырех типов:

1) токены помещаются в один список;

2) токены помещаются в два списка: вложенный список хранит токены каждой части предложения, выделенной знаками препинания, а второй – списки с разбитыми на токены фразами;

3) токены помещаются в три списка: первый вложенный список хранит токены каждой части предложения, выделенной знаками препинания, второй – списки с разбитыми на токены фразами, третий – списки с предложениями, разбитыми на фразы;

4) токены помещаются в четыре списка: первый вложенный список хранит токены каждой части предложения, выделенной знаками препинания, второй – списки с разбитыми на токены фразами, третий – списки с предложениями, разбитыми на фразы, четвертый – списки с абзацами, из которых состоит переданный текст.

Также был добавлен новый тип токена – «знак препинания», благодаря чему стало возможным не только разбиение исходного текста на токены-слова, но и сохранение каждого из них для последующего восстановления предложения с внесенными изменениями, что бывает необходимо при преобразовании текста для раскрытия сокращений или замены числовых данных на их словесное написание для дальнейшего анализа.

Развитие модуля морфологического анализа

Библиотека JMorfSdk поддерживает работу с двумя видами числительных: количественными и собирательными, предоставляя возможность изменять их формы в зависимости от заданных параметров или анализировать их морфологические характеристики, а GraphematicParser выделяет числа в тексте как отдельные токены.

В инструмент GAMA была добавлена возможность преобразования имен числительных: был реализован алгоритм преобразования имен числительных из цифровой или смешанной формы в буквенную и согласования числительных в буквенной форме внутри предложений, результаты его работы приведены в Таблице 1.

В GAMA был добавлен класс NumeralsConverter, методы которого позволяют находить в тексте имена числительные в числовой форме и приводить их к буквенному представлению.

Анализ результатов внедрения ранее сделанных изменений по расширению словаря и реализации алгоритма анализа отсутствующих в слове слов [2] показал, что дальнейшее улучшение точности возможно путем продолжения увеличения дополнительного словаря за счёт поиска в текстах неизвестных слов, выявления среди них существующих и последующего определения морфологических характеристик.

Таблица

Результаты работы алгоритма

Виды записи числовых данных	Доля верных результатов с согласованием
Обычные числа	0,85 – ошибки в определении падежей из-за неоднозначности
Числа с делением тысяч точками или пробелами	0,8 – ошибки в определении падежей из-за неоднозначности
Дробные числа с делением частей запятой	0,9 – ошибки из-за необходимости вручную исправлять форму вспомогательных слов
Дроби, записанные с косой чертой	0,75 – из-за неоднозначности в случае с определением падежей
Числа с наращениями	1
Вводные перечисления	1
Даты без наращений	0,8 – из-за неоднозначности в случае с определением падежа
Числа с сокращенными порядками	0,65 –ошибки с падежами и несогласованностью порядков
Дробные числа с указанием валюты	0,85 – проблемы с наименованием валют и падежами
Нумерация списков	1

Возникновение новых направлений деятельности человека и развитие существующих сопровождается появлением новых терминов. Помимо этого, постоянно продолжается процесс заимствования слов из других языков. Таким образом, для возможности проведения морфологического анализа любых текстов с высокой точностью необходимо постоянное пополнение словаря.

Однако, на данный момент словарь занимает значительное количество оперативной памяти (около 500 Мб) и включает в себя около 5.5 млн. словоформ, среди которых встречаются редко используемые. Для возможности более экономного использования ресурсов словарь может быть разделён на две версии. Первая из них является словарём со всеми словоформами – текущее состояние словаря. Вторая же версия может быть уменьшена за счёт включения в неё только наиболее популярных слов, которые чаще всего встречаются в анализируемых текстах. Статистика частоты использования может быть собрана на основе большого количества различных текстов, что позволит создать словарь наиболее частотных словоформам. С появлением в новой версии возможности морфологического анализа

несловарных слов, можно значительно снизить количество используемой оперативной памяти, при этом избежав серьёзного падения точности работы.

Кроме того, в текстах могут допускаться ошибки написания слов, при которых будет пропущена буква, написана лишняя или заменена одна буква на другую, в результате чего рассматриваемое слова не будет найдено в словаре. Перед началом разбора данного несловарного слова, необходимо провести проверку на опечатки, так как в русском языке встречаются исключения, в результате чего не всегда можно по морфемному составу точно определить часть речи.

Развитие модуля семантико-синтаксического анализа

В алгоритмической части одним из текущих направлений развития модуля семантико-синтаксического анализа является добавление правил для семантико-синтаксического анализа текста и фильтра снятия неоднозначности. Правила формируются на основе моделей управления и валентности слов.

Валентность – это способность слова устанавливать грамматические отношения с другими словами в предложении. Например, разные глаголы требуют различных падежей для своих зависимых слов: «писать» требует винительный падеж, чтобы указать объект действия (писать «кого? что?»); «доверять» – дательный падеж (доверять «кому? чему?») или родительного падежа (доверять без «кого? чего?»).

При чем для глаголов выделяют несколько типов валентности, номер валентности соответствует количеству слов, которым должен управлять глагол. Например, глагол «плачет» одновалентный и он устанавливает связь с одним участником – «девочка плачет» или глагол «прислала» требует трех участников, которые отвечают на вопрос «кто?», «кому?» и «что?» – «Мария прислала подруге открытку» [3, 4].

Во фреймворк TAWT были добавлены 13 новых правил, описывающих сочетания слов и основанных на предложно-падежных конструкциях и глагольной валентности слов. Новые правила используются в том числе в новом алгоритме снятия неоднозначности инструмента SP. На рисунке 1 изображена общая схема взаимодействия инструментов с указанием правил и алгоритмов, которые используются для снятия неоднозначности.

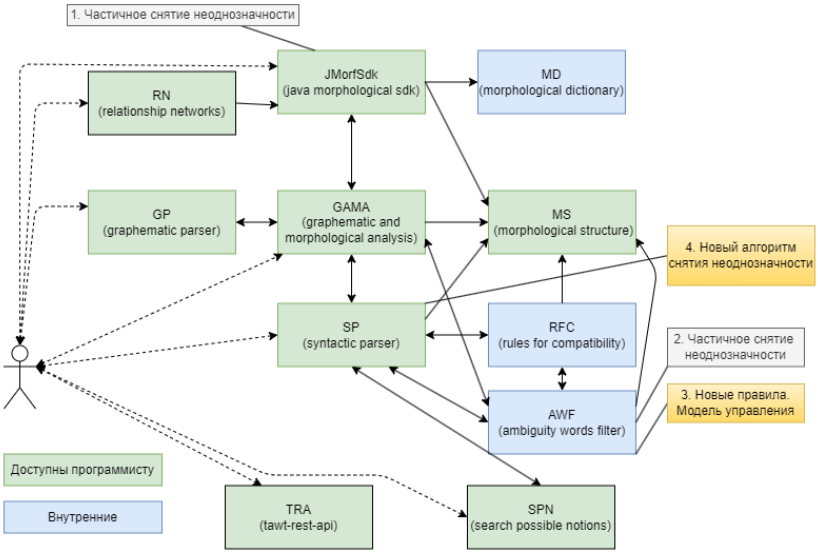


Рис. 1. Новые правила и алгоритм снятия неоднозначности на общей схеме взаимодействия модулей фреймворка

По результатам работы инструмента семантико-синтаксического анализа до внедрения нового алгоритма снятия неоднозначности с применением моделей управления среднее значение для:

– полного снятия неоднозначности равно 53,27%;
– падежного снятия неоднозначности равно 74,89%;

После внедрения нового алгоритма значения для:

– полного снятия неоднозначности равно 55,77%;
– падежного снятия неоднозначности равно 77,85%;

Точность снятия неоднозначности увеличилась на 2,5-3% в зависимости от текста, скорость выполнения снизилась из-за того, что для каждого правила один и тот же опорный оборот и слова внутри него анализировались заново. Средняя скорость обработки текстов до внедрения алгоритма составила 31,67 слов в миллисекунду, а после внедрения алгоритма снизилась до 4,02 слов в миллисекунду.

При этом была выявлена проблема, связанная с тем, что некоторые слова имеют одинаковые формы для именительного и винительного падежа, в таких случаях остаются оба варианта, если не удается исключить одну из формы с помощью существовавших правил.

Правила для установления синтаксических связей основываются на информации о части речи главного слова, части речи зависимого слова,

максимальном расстоянии между ними в предложении, а также дополнительных условиях, которые могут содержать, например, необходимость совпадения рода и падежа у связываемых слов. При этом в правилах удаленность зависимого слова слева или справа от главного может отличаться [8].

Корректность составляемых правил является важной, так как наличие лишних или отсутствие необходимых правил приводит к ошибкам в синтаксическом дереве. У существующих правил есть недостатки, среди которых отсутствие возможности выделения однородных членов предложения и наличие заранее заданного расстояния между словами, что может приводить к образованию лишних связей или наоборот потере нужных. Поэтому для улучшения точности анализа необходимо дальнейшее уточнение реализованных правил.

Текущая реализация не предполагает «разрыва» или принудительного «изменения» уже установленных связей, даже если эти изменения положительно скажутся на точности синтаксического разбора предложения. Например, если была установлена неверная связь по более приоритетному правилу, то последующий анализ предложения, вероятно, также будет содержать ошибки. При этом если «разорвать» связь и использовать менее приоритетное правило, то итоговый анализ предложения будет более точным. Сложность такого «разрыва» заключается в «понимании», когда необходимо выполнить это действие. Вариант перебора комбинаций еще больше увеличивает время разбора предложения и также может приводить к ошибкам.

Семантико-синтаксический этап анализа в фреймворке TAWT позволяет с помощью правил устанавливать связи только в рамках одного опорного оборота. Однако наличие в предложении обособляемых членов предложения может разделить один опорные оборот на несколько, что может привести к невозможности корректного построения синтаксических связей. Например, наличие в середине простого предложения деепричастного оборота приводит к делению этого предложения на три опорных оборота, где первый и третий из них являются частями одной части предложения.

Планируемым улучшением алгоритмов семантико-синтаксического анализа при наличии обособленных членов предложения является их поиск и последующее объединение нескольких опорных оборотов для корректного построения синтаксических связей.

Развитие инструментов анализа текста на базе фреймворка TAWT

Библиотека выделения ключевых слов и реферирования использует расширенные алгоритмы реферирования, сочетающие лингвистический

и статистический подходы на основе экстракции для повышения качества результатов. Библиотека и сервис реферирования на ее основе обеспечивают возможность использования различных методов реферирования, включая предложенный интегральный метод [5], для достижения более содержательных результатов и возможности гибкой настройки используемых методов.

Для обеспечения возможности обработки больших объемов данных в высоконагруженных программных системах на базе модуля TRA разработан инструмент управления потоками задач, связанных с автоматической обработкой и анализом текстов на естественном языке [6]. Для управления потоком задач используется многоуровневая очередь. Было выделено два класса задач на основании ранее проведенного исследования длительности их обработки с учетом размера текста – быстрые задачи и трудоёмкие задачи. Каждому классу соответствует своя очередь. Для быстрых задач используется очередь с приоритетами и механизмом старения (постепенное повышение приоритетов задач в очереди), а для трудоёмких – FIFO очередь [6].

Разработанные инструменты для выделения контекстных синонимов направлены на решение задач их автоматического извлечения из текстов на русском языке. Инструменты используют подходы, основанные на лингвистических алгоритмах, которые определяют семантико-синтаксические конструкции с близким значением, и комбинируют их с методами машинного обучения.

Все инструменты используют алгоритмы морфологического, синтаксического и семантического этапов анализа текста, фильтрацию результатов на основе ключевых слов, а также применение различных методов кластеризации для выделения и группировки кандидатов в контекстные синонимы. Такой подход позволяет значительно повысить точность и качество выделения синонимичных конструкций [7], что делает возможным продолжение исследований и реализацию алгоритмов выделения контекстных синонимов.

Синтагматический анализ позволяет определить синтагматический параметр для лексики. Синтагматический параметр измеряется средним количеством разных слов, приходящимся на синтаксическую связь [8].

Была разработана первая версия инструмента синтагматического анализа, основанная на использовании результатов семантика-синтаксического анализа фреймворка TAWT. Настройки разработанного инструмента позволяют получать только ту часть результатов синтагматического анализа, которая нужна для пользователя. С помощью фильтрации по части речи можно ограничить количество

информации, попадающей в отчет с результатами и, например, вывести полученные синтагматические параметры только для существительных.

Так как синтагматический параметр рассчитывается на основе синтаксических связей, то точность построенного синтаксического дерева на этапе семантико-синтаксического анализа влияет и на точность самого синтагматического анализа. Анализ результатов синтагматического анализа выявил наличие ошибок первого и второго рода при установлении синтаксических связей: отсутствие нужных связей и наличие лишних «технических» связей, которые используются для представления и анализа текста на семантико-синтаксическом уровне.

Добавление возможности управления типами связей позволит добавить механизм фильтрации по типам связей в инструмент синтагматического анализа и повысить точность анализа. Фильтр представляет из себя список пар «часть речи главного слова»-«часть речи зависимого слова», связи между которыми были установлены во время семантико-синтаксического анализа, но должны быть проигнорированы во время определения синтагматических параметров.

Заключение

Фреймворк TAWT является инструментом для реализации алгоритмов лингвистического анализа текста на разных уровнях, решения прикладных задач и оперативной проверки гипотез в области компьютерной лингвистики. Он ориентирован на использование в промышленных и исследовательских системах с акцентом на быстрые интеграцию и внедрение для реализации алгоритмической обработки текстов или в сочетании с методами машинного обучения.

Постоянное развитие фреймворка включает добавление новых модулей, расширение набора решаемых задач, улучшение алгоритмов анализа текста, а также повышение точности, детализации результатов, надежности и оптимизации ресурсов.

TAWT уже применялся при создании приложений автоматического анализа текста и специализированных систем. Его дальнейшее развитие направлено на улучшение «понимания» контекста, данные алгоритмы в перспективе могут помочь в улучшении понимания контекста, в создание систем по проверке не только структурной, но и содержательной части текстов и документов.

Список литературы

1. Полицына, Е.В. Алгоритмы автоматизации анализа текста на русском языке для решения прикладных задач с применением

фреймворка TAWT / Е. В. Полицына, С. А. Полицын, А. С. Поречный // Программные продукты и системы. – 2021. – № 2. – С. 257-268.

2. Полицына, Е.В. Анализ качества работы и расширение возможностей инструментов морфологического анализа текстов на русском языке / Е.В. Полицына, С. А. Полицын, А.С. Поречный, А.Н. Рыкунов // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2023. – № 2. – С. 171-180

3. Кацнельсон, С.Д. К понятию типов валентности // Вопросы языкознания. 1987. – № 3. – С.20-32.

4. Белоногов, Г.Г. Теоретические проблемы информатики. Том 2. Семантические проблемы информатики / Под общей редакцией К.И. Курбакова. – М.: КОС ИНФ, РЭА им Г.В. Плеханова, 2008. – 223с.

5. Полицына, Е. В. Создание интегрального алгоритма и инструментов автоматического реферирования текстов на русском языке / Е. В. Полицына, С. А. Полицын, А. О. Касаткина. – информационные технологии. – 2020. – № 1. – С. 30-38.

6. Чересов, П.А. Проектирование инструмента управления потоком задач для системы автоматического анализа текстов / П. А. Чересов. – ИНФОРМАТИКА: ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДЫ, ТЕХНОЛОГИИ Материалы XXIV Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова. – Воронеж, 2024. – С. 1295-1304.

7. Анализ подходов к автоматическому выделению контекстных синонимов из текстов на русском языке / Е. В. Полицына, С. А. Полицын, А. С. Поречный, Е. Е. Милованова. – Вестник воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. – 2020. – № 3. – С. 120-132.

8. Ермаков, С.А., Кретов, А. А. (2024). Об исторической лексикологии русского языка по текстам. Вестник ВГУ. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация, т.1, С. 113-121

Прогнозирование отказов жестких дисков с использованием методов машинного обучения

В. С. Сабуров, email: byzantineglory1025@gmail.com
Р. В. Фадеев, email: roma-70594@yandex.ru
С. А. Диченко, email: dichenko.sa@yandex.ru

Краснодарское высшее военное орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училище имени генерала армии С.М. Штеменко

Аннотация. *Надежность жестких дисков имеет первостепенное значение для поддержания целостности и доступности данных в облачных сервисах и центрах обработки данных корпоративного уровня, где неожиданные сбои существенно влияют на операционную эффективность и общую производительность. Цель этой работы – разработать прогностическую модель, использующую регрессионный анализ для точного прогнозирования неизбежных отказов жесткого диска на основе исторических эксплуатационных данных, в частности атрибутов SMART (технология самоконтроля, анализа и отчетности). В ходе исследования оценивались различные регрессионные модели, которые включают Дерево решений,Случайный лес, метод опорных векторов (SVM), градиентный бустинг и нейронную сеть. Результаты показали, что модель случайного леса с MSE 24,7427 и R2 0,9876 и модель нейросети с MSE 22,6011 и R2 0,7442 являются наиболее эффективными моделями, поскольку они продемонстрировали высокую точность прогнозирования и надежность.*

Ключевые слова: *отказ жестких дисков, машинное обучение, нейронные сети, технология SMART.*

Введение

Надежность жестких дисков остается жизненно важной проблемой в различных секторах, придавая особое значение облачным сервисам и управлению данными на уровне предприятия, где целостность и доступность данных имеют первостепенное значение[1]. Поскольку предприятия все больше полагаются на принятие решений, основанных на данных, стоимость потери данных или простоя системы из-за сбоев жесткого диска является существенной и влияет на операционную эффективность, удовлетворенность клиентов и финансовые показатели.

© Сабуров В. С., Фадеев Р. В., Диченко С. А., 2025

В центрах обработки данных корпоративного уровня жесткие диски часто работают в условиях повышенного спроса, что может ускорить процесс их износа. Данные, хранящиеся в этих центрах, имеют решающее значение для операций и часто включают истории транзакций, данные клиентов и бизнес-аналитику. Выход из строя жестких дисков в таких установках не только приводит к потере данных, но и влияет на избыточность и отказоустойчивость всей информационной системы[2]. Регулярный мониторинг и прогнозное обслуживание, которым способствует машинное обучение, могут значительно снизить риск подобных происшествий.

1. Исходные данные

В данной работе используется набор данных тестирования жестких дисков от компании BackBlaze, выложенный в открытый доступ [3]. Набор (рис. 1) содержит данные, относящиеся к диагностике жесткого диска с различными атрибутами и показаниями данных S.M.A.R.T. (технология самоконтроля, анализа и отчетности).

```
df = pd.read_csv('../input/hard-drive-test-data/harddrive.csv')
print(df.shape)
df.head()
```

```
(3179295, 95)
```

	date	serial_number	model	capacity_bytes	failure	smart_1_normalized	smart_1_raw	smart_2_normalized	smart_2_raw	smart_3_normalized	...
0	2016-01-01	MJ0351YNG9Z0XA	Hitachi HDS5C3030ALA630	1.482490e-311	0	100	0	135.0	108.0	143	...
1	2016-01-01	Z305B2QN	ST4000DM000	1.976651e-311	0	113	54551400	NaN	NaN	96	...
2	2016-01-01	MJ0351YNG9Z7LA	Hitachi HDS5C3030ALA630	1.482490e-311	0	100	0	136.0	104.0	124	...
3	2016-01-01	MJ0351YNGABYAA	Hitachi HDS5C3030ALA630	1.482490e-311	0	100	0	136.0	104.0	137	...
4	2016-01-01	WD-WMC4N2899475	WDC WD30EFRX	1.482490e-311	0	200	0	NaN	NaN	175	...

5 rows × 95 columns

Рис. 1. Фрагмент набора данных

Дата наблюдения – это предиктор с именем "date", "serial_number" является уникальным идентификатором для каждого жесткого диска, в то время как "model" обозначает номер модели жесткого диска. Емкость накопителя представлена через "capacity_bytes", который представляет собой размер хранилища. Атрибут "failure" представляет собой двоичный индикатор (0 или 1), где "1" указывает, что в эту дату произошел сбой жесткого диска. Этот атрибут используется в прогнозировании на основе классификации в качестве целевой переменной. Остальные 90 атрибутов (столбцов) представляют собой нормализованные и необработанные значения различных атрибутов SMART, которые измеряют работоспособность и производительность жесткого диска. Сценарий предварительной обработки (рис. 2) очищает

данные, удаляя пустые столбцы, идентифицирует уникальные диски и модели, изолирует подмножество данных, относящихся к вышедшим из строя жестким дискам, и предоставляет базовые подсчеты, которые помогают понять состав набора данных.

```
[ ] df = df.loc[:, ~df.isnull().all()]
    print(df.shape)

⇒ (3179295, 91)

[ ] # number of hdd
    print("number of hdd:", df['serial_number'].value_counts().shape)

    # number of different types of harddrives
    print("number of different harddrives", df['model'].value_counts().shape)

⇒ number of hdd: (65993,)
  number of different harddrives (69,)

[ ] failed_hdds = df.loc[df.failure==1]["serial_number"]
    len(failed_hdds)

⇒ 215

[ ] df = df.loc[df["serial_number"].isin(failed_hdds)]
    df.shape

⇒ (5490, 91)
```

Рис. 2. Сценарий предварительной обработки данных

2. Реализация моделей

Для построения модели отказов жестких дисков было выбрано несколько методов машинного обучения:

1. Дерево решений [4], реализованное в виде функции DecisionTreeRegression. Функция строит дерево регрессии путем рекурсивного разделения набора данных на основе значений признаков для минимизации дисперсии в пределах целевой переменной, что гарантирует, что каждое разделение приводит к подмножествам с уменьшенной дисперсией по сравнению с родительским узлом. Реализация начинается с подтверждения того, что набор данных может быть дополнительно разделен на основе минимального размера выборки или максимальная глубина дерева; в противном случае он возвращает среднее целевое значение набора данных в виде конечного узла. Функция выполняет итерацию по всем возможным разделениям для каждого объекта, вычисляет уменьшение дисперсии и выбирает разделение, которое максимизирует это уменьшение. Когда достигается наилучшее разделение, набор данных разделяется и функция вызывается рекурсивно для каждого подмножества до тех пор, пока не будут сформированы конечные узлы.

2. Случайный лес [5], алгоритм которого реализуется путем создания пустого списка, леса, для хранения деревьев решений (рис.5). Для каждого дерева в списке forest генерируется загруженная выборка обучающих данных, после чего запускается процесс обучения регрессионной модели, используя определенные параметры, такие как количество предикторов, которые необходимо учитывать для каждого разделения, минимальное количество выборок, необходимых для разделения узла, и максимальная глубина каждого дерева. Затем эти деревья добавляются в список forests и, наконец, для начала процесса прогнозирования функция predict агрегирует прогнозы со всех деревьев для тестовой выборки, усредняя их выходы для получения финального результата.

3. Метод опорных векторов [6]. Реализация данного метода начинается с инициализации набора данных путем указания таких параметров, как epsilon (для обеспечения устойчивости к ошибкам), параметра регуляризации (C) и типа ядра (линейная, полиномиальная или радиальная базисная функция). Функция ядра определяется на основе выбранного типа ядра, которое преобразует входные данные в пространство более высокой размерности для обеспечения разделения. Для каждой точки данных в обучающем наборе функция потерь вычисляется с учетом значения функции потерь для точек за пределами эпсилон-границы, и в то же время параметры модели оптимизируются с использованием алгоритма последовательной минимальной оптимизации. Обучение продолжается итеративно до тех пор, пока не будут выполнены критерии сходимости, после чего сохраняются окончательные параметры модели, позволяющие SVM прогнозировать сбои жесткого диска в новых экземплярах путем вычисления их положения относительно опорных векторов и суммирования взвешенных вкладов.

4. Градиентный бустинг [7-10]. Реализация градиентного бустинга начинается с инициализации модели, которая изначально прогнозирует усредненное значение целевых переменных. Для каждого из m указанного количества деревьев модель вычисляет остатки (различия между фактическими целевыми значениями и текущими прогнозами), которые служат целевыми значениями для обучения следующего дерева. Таким образом, каждое новое дерево обучается на основе остатков с соблюдением таких ограничений, как максимальная глубина и минимальные выборки, необходимые для разделения. Модель обновляется путем добавления масштабированных прогнозов нового метода к прогнозам текущей модели, итеративно повышая точность. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут построены все

деревья, создавая ансамблевую модель, которая делает окончательные прогнозы на основе новых данных путем агрегирования вкладов всех деревьев.

5. Нейронная сеть[11-14]. Реализация начинается с определения структуры сети, которая включает в себя количество входных нейронов (соответствующее набору данных объектов), скрытых слоев и выходных нейронов. Функция, обозначающая среднеквадратичную ошибку, измеряет разницу между прогнозируемыми и фактическими значениями, в то время как обратное распространение используется для обновления весов и смещений путем минимизации этих потерь. После обучения сеть инициализируется со случайными весами и отклонениями для каждого уровня. Во время обучения сеть обрабатывает каждый обучающий экземпляр путем распространения входных данных по слоям с применением функций активации на каждом скрытом уровне и вычислением выходных данных. Потери нейронная сеть тестируется путем передачи новых данных через обученную модель для прогнозирования сбоев жесткого диска с агрегированием прогнозов для получения конечного результата.

3. Оценка моделей

Для оценки эффективности прогнозирования обученных моделей, исходный набор данных был предварительно разделен на обучающую и тестовую выборки в соотношении 7:3. После этого необходимо определить метрики качества, в соответствии с которыми будет сделан вывод об эффективности обученных моделей.

Чтобы понять, насколько точно модель прогнозирует срок работоспособности жестких дисков было решено использовать метод наименьших квадратов (MSE)[15-17], вычисляемый следующим образом:

$$MSE = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2 , \quad (1)$$

где y_i – истинное значение целевого признака тестовой выборки для i -й записи, а $\hat{y}_i$ – прогнозируемое значение целевого признака тестовой выборки для i -й записи.

Кроме того, чтобы понять качество рассчитанной ошибки, было решено использовать коэффициент детерминации R^2 [12-14], показывающий, какая доля дисперсии целевых значений объясняется моделью. Данный коэффициент вычисляется следующим образом:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}, \quad (2)$$

где y_i – истинное значение целевого признака тестовой выборки для i-й записи, а $\hat{y}_i$ – прогнозируемое значение целевого признака тестовой выборки для i-й записи, а $\bar{y}$ - среднее арифметическое значений целевого признака.

Значения данной метрики можно интерпретировать следующим образом:

1. $R^2 = 1$ – модель идеально прогнозирует отказы жестких дисков;
2. $R^2 = 0$ - прогнозы модели соответствуют среднему арифметическому фактических целевых значений;
3. $R^2 < 0$ - модель работает хуже, чем простое использование среднего значения фактических целевых значений.

После тестирования моделей были получены результаты, указанные в таблице.

Таблица

Модель	*MSE*	R^2
Дерево решений	71.4943	0.9642
Случайный лес	24.7427	0.9876
Метод опорных векторов	2888.8623	-0.4465
Градиентный бустинг	823.1132	0.5879
Нейронная сеть	22.6011	0.7442

Для модели дерева решений *MSE* равен 71,4943, с R^2 равно 0,9642, что указывает на высокую степень точности. Модель случайного леса имеет *MSE* равный 24.7427 и R^2 0,9876, что предполагает даже лучшую производительность. Напротив, метод опорных векторов демонстрирует результаты с очень высоким *MSE*, равным 2888.8623, и отрицательным R^2 значение -0.4465, предполагающими, что метод плохо справляется с определением взаимосвязи между предикторами и целевой переменной, что даже хуже чем простое усреднение значений. Градиентный бустинг имеет значение *MSE*, равное 823.1132, и значение R^2 равен 0,5879, что отражает умеренную точность. Наконец, модель

нейронной сети сообщает о MSE, равном 22,6011, и R^2 от 0,7442, что указывает на хорошую производительность.

Заключение

В ходе исследования оценивались различные регрессионные модели, которые включают дерево решений, случайный лес, метод опорных векторов (SVM), градиентный бустинг и нейронную сеть. Результаты показали, что модель случайного леса с MSE 24,7427 и R^2 0,9876 и модель нейросети с MSE 22,6011 и R^2 0,7442 являются наиболее эффективными моделями, поскольку они продемонстрировали высокую точность прогнозирования и надежность. Напротив, модель SVM показала низкую производительность с MSE, равным 2888.8623, и отрицательным R^2, равным – 0.4465. Основываясь на этих результатах, модели случайного леса и нейросети рекомендуются для прогнозирования отказов жесткого диска, поскольку они обеспечивают баланс точности и интерпретируемости

Список литературы

1. Насыров, Р.И. Параметры математической модели прогнозирования надежности и накопителей информации в крупных Data-центрах / Р. И. Насыров, И. Н. Насыров // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. -№ 8. – С. 56-61.

2. Насыров, Р.И. Адекватность отображения нейронными сетями ступенчатой нелинейности показателя надежности накопителей информации / Р. И. Насыров // VI Камские чтения : материалы Всерос. науч.-прак. конф. Студентов, аспирантов и молодых ученых. 25 апреля 2014 г., НабережныеЧелны / В 3-х ч. Часть 1. – Набережные Челны: НЧИ КФУ, 2014. – С. 115-118. – Режим доступа: http://ineka.ru:778/eLibrary/2014/Камские чтения VI 2014. Часть 1.pdf – (дата обращения: 19.01.2025)

3. Hard Drive Data and Stats / BackBlaze. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.backblaze.com/b2/hard-drive-test-data.html (дата обращения: 19.01.2025)

4. Диченко, С.А. Системный анализ проблемы обеспечения целостности данных в информационно-аналитических системах / С. А. Диченко // Информатика: проблемы, методы, технологии. Сборник материалов XX международной научно-методической конференции. Под ред. А. А. Зацаринного, Д. Н. Борисова. – Воронеж, 2020. – С. 1001-1005.

5. Трофимов, А.Н. Теоретико-информационный анализ многоуровневой flash-памяти. Часть 1: Модель канала и границы случайного кодирования / А.Н.Трофимов, Ф.А. Таубин // Информационно-управляющие системы. Кодирование и передача информации. – 2016. – №2. – С. 56-67.

6. Трофимов, А.Н. Теоретико-информационный анализ многоуровневой flash-памяти. Часть 2: Оценка параметров кодов, обеспечивающих заданную надежность хранения данных / А.Н.Трофимов, Ф.А. Таубин // Информационно-управляющие системы. Кодирование и передача информации. – 2016. – №3. – С. 64-71.

7. Стариков, Т.В. Криптографический контроль целостности данных по правилам построения кода Рида-Соломона / Т. В. Стариков [и др.] // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2022. – №1. – С.58-67.

8. Подосенов, С.А., Потапов, А.А., Соколов, А.В. Импульсная электродинамика широкополосных радиосистем и поля связанных структур / под ред. А.А. Потапова. М.: Радиоэлектроника. 2003

9. Киселев, В.Д., Есиков, О.В., Кислицын, А.С. Защита информации в системах ее передачи и обработки / под ред. Е.М. Сухарева. М.:СОЛИД. 2000

10. Способ контроля и обеспечения целостности данных: пат. 2680739 Российская Федерация : МПК G06F 21/64 / Диченко С. А. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Краснодарск .высш. воен. училище. – № 2017141538 ; заявл. 28.11.17 ; опубл. 26.02.19, Бюл. №6. – 21 с.

11. Кодацкий, Н.М. Интеллектуальный метод оценки состояния оборужования компьютера для предотвращения потери данных / Н. М. Кодацкий, Панов С. В. // Молодой исследователь Дона. – 2024. – №9(3). – С.54-60.

12. Page, D. Partitioned Cache Architecture as a Side-Channel Defence Mechanism // Report 2005/280, http://eprint.iacr.org. 2005, P. 213-225

13. Сибиряков, М.А. Способ трансляции адресов в подсистемах хранения данных на основе flash накопителей / М.А. Сибиряков, А.В. Сухих // Международный научно-исследовательский журнал. Технические науки. – 2013. – №7 (14). – С. 85 – 87.

14. Ярмолик, С.В. Анализ методов тестирования флэш-памяти / С.В. Ярмолик // Доклады БГУИР. – 2010. – №4(50). – С. 62 – 68.

15. Pavan, P., Bez, R., Olivo, P., Zanoni, E. // Proc. IEEE. 1997. Vol. 85, № 8. P. 1248–1271.

16. Brown,W., Brewer,J. Nonvolatile Semiconductor Memory Technology: A comprehensive Guide to Understanding and Using NVSM Devices. IEEE Press, 1998.

17. Диченко, С.А. Метод параметрического синтеза крипто-кодовых структур для контроля и восстановления целостности информации / С. А. Диченко, Д. В. Самойленко, О. А. Финько, К. Ю. Рюмшин // Вопросы кибербезопасности. – 2023. – №2 (54). – С. 36-51.

Управляемая генерация и анализ кода на основе больших языковых моделей

Е. С. Скопин, email: eternalpulsar90@gmail.com

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

Аннотация. *В данной работе рассматриваются методы для управляемой генерации кода при помощи больших языковых моделей. Предлагаются несколько методов для управляемой генерации кода согласно unit-тестам, в частности, метод манипулирующий выходом языковой модели при помощи векторного сходства. Также рассматривается адаптер-модель encoder-decoder, влияющая на выход большой языковой модели.*

Ключевые слова: *машинное обучение, нейронные сети, большие языковые модели, генерация кода, управляемая генерация.*

Введение

Автоматическая генерация корректного кода на различных языках программирования представляется перспективной технологией как в академической, так и в промышленной сферах. Впечатляющие результаты в этом направлении достигаются благодаря крупномасштабным предварительно обученным языковым моделям, способным создавать тексты, включая код. Управляемая генерация фокусируется на интеграции в процесс генерации текста заданных параметров. На текущий момент способы управления генерацией кода в основном полагаются на методы управляемой генерации текста. В данной работе рассматриваются два метода управляемой генерации: метод использующий языковую модель для поиска последовательности токенов языковой модели, которая наиболее семантически близка к запросу пользователя, а также метод применяющий адаптер-модель энкодер-декодер для контроля над результатами языковой модели.

1. Данные

В данной работе рассматривалось управление генерацией кода через unit-тесты. На это есть несколько причин:

– тестирование при помощи Unit-тестов – это распространенная практика в разработке ПО;

© Скопин Е.С., 2025

– в открытом доступе имеются несколько готовых датасетов, где задачи для программирования сопровождаются некоторыми тестами;
– проверка корректности прохождения unit-тестов позволяет вычислить объективную метрику точности генерации модели путем вычисления процентов успешных решений.

В данной работе использовался датасет MBPP (Mostly Basic Python Problems) [1]. Это датасет с небольшими задачами на решение, сопровождаемые готовым кодом и тестами для задачи на Python. Датасет состоит из 974 задач, при этом он поделен на несколько секций:

– тестовую (500 задач);
– обучающую (374 задач);
– валидационную часть (90 задач);
– few-shot – 10 задач предназначеных для использования в few-shot инструкциях;

Датасет включает следующие поля:

– описание задачи;
– код;
– список тестов;
– подготовительный код необходимый для выполнения тестов;
– список усложненных тестов.

2. Метод семантического сравнения

Одним из методов, рассматриваемых в этой работе, является метод поиска сгенерированных последовательностей путем вычисления эмбеддингов. Большая языковая модель генерирует несколько последовательностей, в работе использовался метод лучевого поиска (beam search). Затем высчитываются эмбеддинги сгенерированных последовательностей и списка тестов. Каждый эмбеддинг последовательности сравнивается с эмбеддингом списка тестов путем косинусного сходства. В итоге берется последовательность с самой большой оценкой сходства. На рис.1 указана схема метода семантического сходства.

Для сравнения были проведены несколько экспериментов по генерации кода с применением больших языковых моделей. Использовалась test-секция датасета MBPP. Эксперименты проводились с моделями Yi-Coder [2] и Qwen-2.5-Coder [3].

Для вычисления эмбеддингов и косинусного сходства были выбраны следующие модели:

– krlvi/sentence-t5-base-nlpl-code_search_net [4];
– jinaai/jina-embeddings-v2-base-code [5].

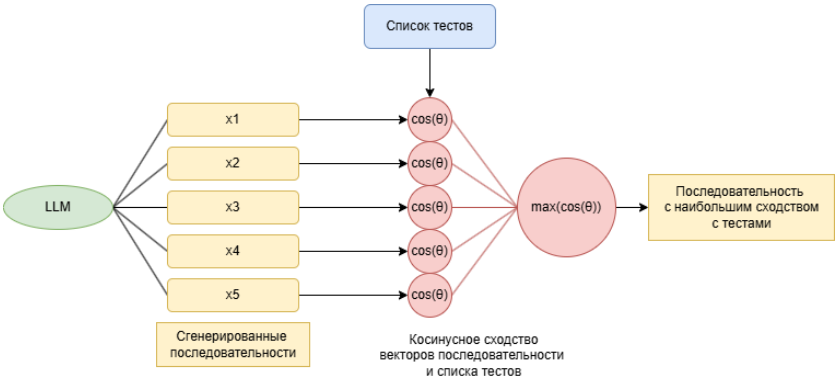


Рис. 1. Метод семантического сходства

В качестве инструкции моделям подавались следующие инструкции.

Системный промпт: «You are large language model for coding, you are exceptionally skilled in programming, coding, and any computer-related issues. You will write python code. Write only code, do not write any explanations»

Основная инструкция с few-shot примерами:

«Please refer the given examples and generate a python function for my problem. Do not provide any explanations, write only python code.

Examples are listed as follows:

{few-shot примеры}

Here is my problem:

{Основная Задача}»

Основная инструкция без примеров:

«Please generate a python function for my problem. Do not provide any explanations, write only python code.

Here is my problem:

{Основная Задача}»

Используя указанные инструкции, модель генерирует ответ, из этого ответа извлекается код с помощью регулярных выражений. Дальше, этот код выполняется интерпретатором Python, после чего выполняются указанные тесты. Если выполнение было прервано, например. из-за синтаксической ошибки или ошибки в тесте, генерация

считается некорректной, если же код и тесты были выполнены полностью без ошибок, генерация считается успешной.

По каждой модели и методу было проведено суммарно шесть эксперимента: три эксперимента с few-shot и три эксперимента с zero-shot подходом. В таблицах 1 и 2 указаны усредненные результаты.

Таблица 1

Результаты экспериментов с few-shot подходом. Модель формирования эмбеддингов – krlvi/sentence-t5-base-nlpl-code_search_net

Модель	**Параметры (млрд.)**	**Простой сэмплинг**	**Поиск по лучу**	**Сходство векторов**
Yi-Coder-1.5B-Chat	1.48	52.30	**54.51**	52.84
Yi-Coder-9B-Chat	8.83	**71.94**	71.34	71.69
Qwen-2.5-Coder-0.5B-Instruct	0.49	34.07	**37.47**	34.67
Qwen-2.5-Coder-1.5B-Instruct	1.54	45.57	**53.51**	53.11

Таблица 2

Результаты экспериментов с zero-shot подходом. Эмбеддинг модель – jinaai/jina-embeddings-v2-base-code

Модель	**Параметры (млрд.)**	**Простой сэмплинг**	**Поиск по лучу**	**Сходство векторов**
Qwen-2.5-Coder-0.5B-Instruct	0.49	34.67	**41.08**	40.08

Метод на основе сходства векторов оказался хуже чем обычный поиск по лучу, однако в большинстве случаев лучше, чем простой сэмплинг. Как в few-shot и в zero-shot промптах, модель хорошо справляется с генерацией кода согласно сигнатурам тестов. Метод по сходству векторов не может дать дополнительного контроля для улучшения контроля, так как у основной модели не хватает способностей к генерации необходимого кода, который мог бы пройти требуемые тесты.

3. Адаптер-модель для управляемой генерации

Для управления генерацией кода также рассматривается адаптер-модель в виде использование Encoder-Decoder модели архитектуры Transformer [6]. Encoder и Decoder блоки используются для влияния на выход основной языковой модели. На вход в блок энкодера поступают эмбеддинги контролируемой последовательности, в данной работе это unit-тесты. На вход в блок декодера поступают эмбеддинги обычной последовательности. Выход блока декодера поступает на линейный слой, который инициализируется нулевыми значениями, с нулевыми значениями, модель-адаптер не сможет повлиять на выход основной модели. В итоге выход последнего скрытого слоя языковой модели комбинируется с выходом адаптер-модели. Получившийся результат поступает в LM Head языковой модели.

Были обучены несколько моделей-адаптеров с различным количеством параметров. Модели обучались на обучающей секции датасета MBPP. Веса основной языковой модели были заморожены. В качестве основной языковой модели была выбрана модель Qwen-2.5-Coder-0.5B-Instruct. Адаптер-модели обучалась на одной видеокарте P100 со следующими параметрами:

- 20 эпох;
- Batch Size – 4;
- Скорость обучения – $2*10^{-5}$;
- Количество слоев и голов в слоях множественного внимания в энкодер и декодер блоках:
- 4 слоя 8 голов;
- 4 слоя 16 голов;
- 8 слоев 16 голов;
- 8 слоев 32 головы;

По каждой модели-адаптеру было проведено 3 эксперимента. Результаты в таблице 3 показаны усредненные.

Результаты оказались хуже традиционных способов генерации.

Таблица 3

Результаты экспериментов с адаптер-моделями с моделью Qwen-2.5-Coder-0.5B

Кол-во слоев	Кол-во голов	Кол-во параметров (млн.)	% от параметров языковой модели	Результаты генерации	Простой сэмплинг
4	8	68.8	14%	32,26%	34,67
4	16	68.8	14%	33,47%	
8	16	136.8	27%	33,27%	
8	32	136.8	27%	32,67%	

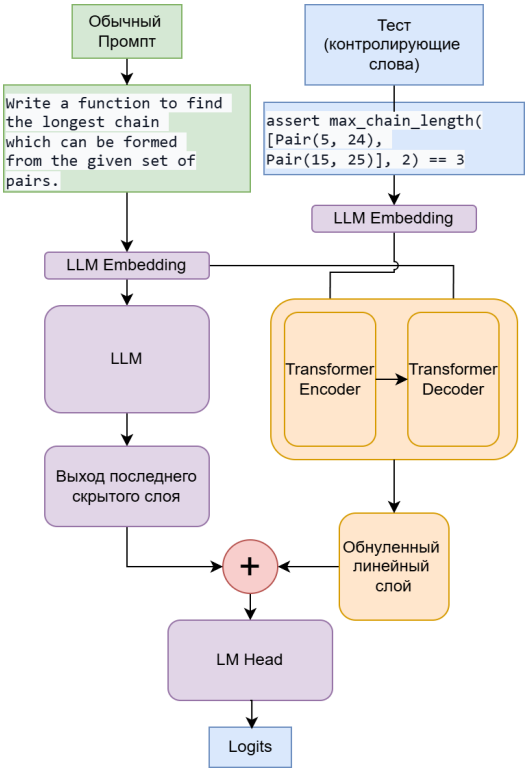


Рис. 2. Архитектура адаптер-модели

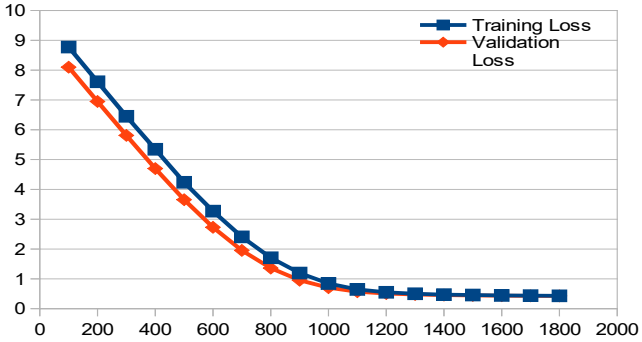


Рис. 3. График функции потерь при обучении модели с 4 слоями и 8 голов

Заключение

В статье были рассмотрены несколько методов управляемой генерации кода на основе больших языковых моделей.

В работе представлен метод семантической схожести сгенерированных при помощи языковых моделей последовательностей и списка unit-тестов. Также предоставлены результаты экспериментов в сравнении с традиционными подходами генерации на основе языковых моделей. Результаты экспериментов показали, что традиционные методы, в частности поиск по лучу, оказались лучше метода семантической схожести кода и тестов.

Также рассмотрен метод генерации при помощи адаптер-модели. В ходе работы обучены несколько адаптер-моделей с различными параметрами. Были предоставлены результаты экспериментов, в результате которых адаптер-модели показали себя хуже чем обычный способ генерации на основе языковой модели.

Список литературы

1. Austin, J., Odena, A., Nye, M., Bosma, M., Michalewski, H., Dohan, D., Jiang, E., Cai, C., Terry, M., Le, Q. and Sutton, C. Program synthesis with large language models. arXiv preprint arXiv:2108.07732.
2. Young, 0.A., Chen, B., Li, C., Huang, C., Zhang, G., et al. Yi: Open Foundation Models by 01.AI. ArXiv, abs/2403.04652.
3. Hui, B., Yang, J., Cui, Z., Yang, J., et al. Qwen2. 5-coder technical report. arXiv preprint arXiv:2409.12186.
4. Hugging Face. krlvi/sentence-t5-base-nlpl-code_search_net – [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://huggingface.co/krlvi/sentence-t5-base-nlpl-code_search_net (дата обращения: 19.01.2025).
5. Günther, M., Ong, J., Mohr, I., Abdessalem, A., et al. Jina embeddings 2: 8192-token general-purpose text embeddings for long documents. arXiv preprint arXiv:2310.19923.
6. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., et al. Attention is all you need. Advances in neural information processing systems, 30.

Возможности применения технологии поисковой расширенной генерации RAG (Retrieval Augmented Generation) в разработке систем поддержки принятия решений

К. В. Смотрова, e-mail: smotrova-kristina@mail.ru
В. В. Гаршина, e-mail: garshina@cs.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В статье приводится анализ возможностей применения технологий расширенной генерации – RAG (Retrieval Augmented Generation) к разработке систем поддержки принятия решений.*

Ключевые слова: *системы поддержки принятия решений, Retrieval-Augmented Generation (RAG), языковые модели, актуализация данных, интеграция внешних источников, генерация текста, динамичные условия, поиск и анализ информации.*

Введение

Современные языковые модели (LLM) обладают значительными возможностями в генерации текста, однако они ограничены статичностью своих знаний, поскольку обучаются на фиксированных данных и не имеют доступа к обновляемой информации после завершения обучения. Это создаёт трудности при их использовании для решения задач, требующих актуальности знаний, например, в ситуациях, когда необходимо учитывать последние изменения в фактах, событиях или тенденциях.2

Для решения этой проблемы и повышения точности моделей в реальных, динамично меняющихся условиях было предложено использование технологии Retrieval-Augmented Generation (RAG). Эта методология позволяет моделям извлекать актуальную информацию из внешних источников данных, таких как базы знаний, веб-страницы, научные статьи или даже документы компании. Извлечённые данные затем интегрируются в процесс генерации текста, что позволяет модели предоставлять более точные и релевантные ответы.

В результате, такие модели становятся значительно более эффективными в разнообразных приложениях, от консультативных систем до автоматизированных аналитических инструментов, позволяя

© Смотрова К.В., Гаршина В. В., 2025

быстро адаптироваться к изменениям и улучшать качество принятия решений в условиях постоянной изменчивости информации.

1. Механизм работы RAG

Механизм работы Retrieval-Augmented Generation (RAG) включает несколько ключевых этапов, которые обеспечивают синтез данных из внешних источников и генеративных возможностей языковых моделей.

На первом этапе анализируется пользовательский запрос. Модель интерпретирует введённый текст, определяя, какую информацию необходимо получить для формирования ответа. Этот анализ охватывает понимание темы, цели и контекста запроса. Например, если в запросе указаны уточнения, такие как временные рамки ("за последние два года") или конкретная область ("в медицине"), модель учитывает эти параметры для обеспечения релевантности ответа.

Затем выполняется поиск релевантной информации. На этом этапе модель обращается к различным источникам данных, таким как базы знаний, текстовые индексы, графы знаний или API, для получения актуальных сведений. Важным элементом RAG является применение семантического поиска, который использует векторные представления текста (embeddings). Это позволяет учитывать смысловую связь между словами и выражениями, а не просто искать совпадения по ключевым словам. Например, запрос "новые достижения в области искусственного интеллекта" может вернуть материалы, связанные с прогрессом в машинном обучении или обработке естественного языка, даже если в текстах используются иные формулировки.

Извлечённые данные проходят этап интеграции с моделью. На этом этапе выполняется фильтрация данных: устраняются нерелевантные и дублирующиеся элементы, а также проводится оценка достоверности источников, чтобы сформировать ответ на основе проверенной информации. Эти данные используются как контекст для генеративной модели, которая создаёт содержательный и точный ответ. Такой подход позволяет учитывать актуальные данные и формулировать ответы, максимально соответствующие запросам пользователя.

Основные преимущества RAG делают её одной из самых универсальных технологий для работы с данными:

– доступ к актуальной информации – модель способна использовать свежие данные, отражающие недавние изменения и события;

– прозрачность возможность предоставления ссылок на источники делает ответы проверяемыми и повышает уровень доверия со стороны пользователей.

– масштабируемость для обновления модели не требуется её переобучение, так как новые данные извлекаются напрямую из внешних хранилищ, это значительно упрощает и ускоряет процесс работы с постоянно обновляющейся информацией.

– гибкость технология легко адаптируется для работы с любыми типами данных и хранилищ, что делает её применимой в самых разных отраслях, от медицины до финансов.

RAG уже демонстрирует свою эффективность в различных сферах благодаря уникальной способности работать с большими объёмами актуальных данных. [1]

В медицине её применяют для анализа и обработки медицинских баз данных, что помогает врачам быстрее и точнее принимать решения. Например, такие системы могут предоставлять рекомендации по оптимальным вариантам лечения, учитывая историю болезни пациента и последние научные исследования. Также RAG используется для интерпретации сложных клинических исследований, делая их выводы более доступными для практического применения. Это особенно важно в условиях, когда новые данные о лекарствах, процедурах и диагностике появляются практически ежедневно.

В финансовом секторе RAG играет ключевую роль в обработке рыночных отчётов и аналитических данных. Она помогает оценивать текущие экономические тенденции, анализировать рыночные тренды и находить оптимальные инвестиционные стратегии. Благодаря этому специалисты могут принимать более обоснованные решения, учитывая последние изменения на рынке. Например, RAG может анализировать массивы новостей, отчётов компаний и финансовую статистику, формируя прогнозы и рекомендации в реальном времени.

В науке и образовании RAG становится незаменимым инструментом для работы с обширными массивами данных. Исследователи используют её для поиска релевантной информации в научных статьях, формирования новых гипотез и упрощения анализа сложных вопросов. Преподаватели могут применять систему для подготовки учебных материалов, актуализации знаний и ответов на трудные вопросы студентов. Это позволяет экономить время и повышать качество научной и образовательной работы.

Таким образом, RAG уже сегодня вносит значительный вклад в развитие медицинских, финансовых, научных и образовательных направлений, делая работу специалистов быстрее, точнее и эффективнее.

Сравнение технологий Retrieval-Augmented Generation (RAG) с другими подходами показывает её значительные преимущества в

области интеграции актуализированных данных с генерацией текста. Традиционные поисковые системы, такие как Elasticsearch [2] и Apache Solr [3], предоставляют быстрый поиск, но ограничены синтаксическим анализом, что часто приводит к недостаточной точности и невозможности учитывать контекст запроса. Эти системы не обладают генеративными способностями, что делает их менее эффективными для создания развернутых ответов на сложные запросы.

Генеративные модели, такие как GPT или T5, способны создавать осмысленные тексты, но их знание фиксируется на этапе обучения и не обновляется в реальном времени. Это ограничивает их возможность учитывать изменения в данных, что особенно важно в динамичных областях, таких как финансы или медицина. Таким образом, такие модели не могут обеспечивать актуальные и точные ответы, которые требуются для принятия обоснованных решений.

Гибридные решения, такие как IBM Watson Discovery [4] или поисковые системы Google [5], пытаются объединить поиск и генерацию, но страдают от ограниченной точности и недостаточной персонализации. Несмотря на то, что они могут извлекать данные из множества источников, они не всегда могут эффективно интегрировать эти данные в процесс генерации релевантных и точных ответов, что снижает их эффективность для специализированных задач.

RAG выделяется на фоне этих технологий благодаря своей способности интегрировать актуальные данные из внешних источников и эффективно использовать их для генерации точных и релевантных ответов. В отличие от традиционных поисковых систем и генеративных моделей, RAG использует семантический поиск и имеет доступ к внешним хранилищам данных, что позволяет ей адаптироваться к изменениям и предоставлять актуальную информацию. Это делает RAG более точной и персонализированной для решений в таких областях, как медицина, финансы и другие динамичные сферы.

Таким образом, Retrieval-Augmented Generation представляет собой одно из самых перспективных направлений в развитии искусственного интеллекта. Эта технология не только расширяет функциональные возможности языковых моделей, но и создаёт интеллектуальные системы нового поколения, которые способны учитывать изменения в окружающем мире и предоставлять актуальную, проверяемую информацию для поддержки принятия решений в различных отраслях.

Заключение

Технология Retrieval-Augmented Generation (RAG) является значимым шагом вперёд в области систем поддержки принятия решений, обеспечивая интеграцию актуализированных данных из

внешних источников с возможностями генеративных языковых моделей. В условиях динамично меняющейся информации, где точность и своевременность являются ключевыми факторами, RAG позволяет моделям оперативно получать свежие данные, что повышает их эффективность в различных сферах. Эта технология не требует частого переобучения моделей, что экономит время и ресурсы, обеспечивая актуальность знаний.

Особенностью RAG является способность работать с различными источниками данных, такими как базы знаний, научные статьи и веб-страницы. Использование семантического поиска позволяет значительно повысить точность извлекаемой информации, ориентируясь не только на ключевые слова, но и на смысловые связи.

Внедрение RAG в различные сферы открывает новые возможности для создания более точных и адаптированных систем поддержки принятия решений. Эта технология улучшает процессы прогнозирования, анализа и принятия решений в реальном времени, что делает её важной для таких сфер, как здравоохранение, финансовый анализ и научные исследования.

Литература

1. GitVerse. Что такое RAG (Retrieval Augmented Generation) простыми словами и основные принципы. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gitverse.ru/blog/articles/ai/216-chto-takoe-rag-retrieval-augmented-generation-prostymi-slovami-i-osnovnye-principy

2. Elasticsearch. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elastic.co/elasticsearch.

3. Apache Solr. Apache Software Foundation [Электронный ресурс]. – URL: https://solr.apache.org

4. Watson Discovery. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ibm.com/cloud/watson-discovery

5. AI-powered Google Search . – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://blog.google/products/search/introducing-ai-powered-google-search

Обзор методов и подходов для обучения агентов в мультиагентных системах

Я. В. Солодовникова, email: solodovnikovasyv@yandex.ru
В. В. Гаршина, email: garshina.veronika@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной статье рассматриваются методы и подходы, применяемые для обучения агентов в мультиагентных системах. Оценены различные техники, включая обучение с подкреплением, а также их преимущества и ограничения в контексте мультиагентных сред. Подчеркивается важность разработки гибридных подходов для повышения эффективности мультиагентных систем.*

Ключевые слова: *методы обучения агентов, мультиагентные системы, координация агентов, адаптивные системы, взаимодействие агентов, гибридные подходы.*

Введение

Обучение агентов в мультиагентных системах представляет собой одно из ключевых направлений в области искусственного интеллекта. Оно играет важную роль в решении задач, которые требуют координации действий нескольких агентов в сложной и динамично изменяющейся среде. В последние годы активно исследуются различные методы и подходы, направленные на улучшение эффективности таких систем. Они охватывают широкий спектр применений, включая управление трафиком, распределение ресурсов, робототехнику и моделирование социальных процессов [1], принося пользу в различных прикладных областях.

Разработка эффективных методов обучения агентов в мультиагентных системах является сложной задачей, так как взаимодействие между агентами в таких системах порождает дополнительные трудности, такие как необходимость координации действий и адаптации к поведению других участников. Для решения этих проблем предложены различные подходы, которые можно классифицировать по типу взаимодействий между агентами и обучающим процессам. Некоторые из методов концентрируют внимание на обучении агентов с учетом взаимодействий, а некоторые на

© Солодовникова Я. В., Гаршина В. В., 2025

децентрализованных подходах, где каждый агент действует автономно [2].

1. Методы обучения интеллектуальных агентов

Методы обучения интеллектуальных агентов делятся на несколько подходов, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения, определяющие их применимость в различных условиях [3].

Независимое обучение представляет собой простой подход, при котором каждый агент действует и обучается автономно, не учитывая взаимодействия с другими. Хотя этот метод обеспечивает низкие вычислительные затраты и простоту реализации, он сталкивается с трудностями при решении задач, требующих координации и взаимодействия. В таких системах агенты могут демонстрировать нестабильное поведение из-за отсутствия информации о действиях других участников.

Централизованное обучение предполагает использование глобальных данных системы на этапе обучения. Такой подход позволяет учитывать взаимодействия между агентами и оптимизировать их поведение для достижения общей цели. Однако его применение ограничивается сложностями централизованного контроля в масштабных или распределённых системах.

Децентрализованное обучение основано на индивидуальной автономии агентов. Они принимают решения, опираясь на локальную информацию и взаимодействия, что делает метод гибким и устойчивым к изменениям. Однако отсутствие глобального видения может снижать эффективность в условиях высокой сложности задачи.

Кооперативные методы обучения направлены на достижение общей цели за счёт согласованных действий агентов. Они используют механизмы совместной оптимизации стратегий, что особенно важно в задачах с высокой степенью взаимодействия, таких как управление ресурсами или распределение задач.

Методы самоорганизации опираются на локальные взаимодействия агентов и их способность адаптироваться к условиям среды без централизованного управления. Эти подходы эффективны в условиях, где требуется высокая степень автономии, однако их применение может быть затруднено в задачах, требующих сложной координации.

Эффективность обучения интеллектуальных агентов определяется выбором подхода, который зависит от особенностей среды, сложности задач и необходимости взаимодействия между участниками. Современные исследования направлены на комбинирование различных методов для создания более универсальных и адаптивных решений.

2. Обзор алгоритмов обучения с подкреплением для мультиагентных систем

В последние годы методы обучения с подкреплением (RL) получили значительное распространение в задачах мультиагентного обучения, где несколько агентов взаимодействуют друг с другом и окружающей средой с целью максимизации общей награды. Этот подход широко применяется в робототехнике, многопользовательских играх, управлении трафиком и других областях.

SARSA является одним из классических алгоритмов обучения с подкреплением, основанных на методе динамического программирования. Этот алгоритм использует обновление Q-функции для оценки качества состояния и действия в процессе обучения. SARSA представляет собой алгоритм с онлайн обучением и on-policy, благодаря чему агент обновляет свои действия в процессе исполнения, принимая во внимание текущую политику.

SARSA в мультиагентных системах применим в случае, когда агентов несколько и они могут взаимодействовать друг с другом, а также с окружающей средой. Однако важной особенностью является то, что данный алгоритм склонен к локальным минимумам, из-за чего может сталкиваться с проблемами в условиях динамических изменений. В мультиагентной среде это может привести к тому, что агенты не всегда будут эффективно учитывать поведение других участников [4].

Q-learning является расширением SARSA и представляет собой алгоритм off-policy, то есть обучение происходит независимо от текущей политики агента. Q-learning обновляет значения Q-функции на основе максимальной ожидаемой награды, даже если агент выбрал действие, не соответствующее текущей стратегии. Это позволяет агентам стремиться к глобальной оптимизации, а не только локальной.

В мультиагентных системах Q-learning позволяет агентам адаптировать свою стратегию с учетом максимизации общей награды, но при этом важно учитывать взаимодействия между агентами. В задачах с несколькими агентами, где каждый агент может влиять на поведение других, Q-learning может быть неэффективен, так как агенты не учитывают взаимные воздействия в процессе обучения, что может приводить к неустойчивости и неоптимальности действий.

Для преодоления этого недостатка были разработаны такие расширения, как Multi-Agent Q-learning, где несколько агентов обучаются совместно, однако важным остается вопрос масштабируемости и необходимости учета взаимодействий в условиях увеличения числа агентов [4].

Deep Q-Learning (DQN) представляет собой улучшение классического Q-learning, где для аппроксимации Q-функции используется глубокая нейронная сеть. Это позволяет решать задачи, которые сложно решаются с использованием таблицы Q-функций, например, задачи с огромным числом состояний. DQN эффективно используется в тех областях, где наблюдения могут быть высокоразмерными, например, в играх с изображениями или видео, где агенты должны принимать решения, основываясь на сложных данных.

Однако, как и традиционные алгоритмы Q-learning, DQN сталкивается с проблемой взаимодействий между агентами в мультиагентных системах. Каждый агент, использующий DQN, может не учитывать влияние других агентов, что приводит к недостаточной координации и нарушению общей эффективности системы. Для решения этой проблемы был предложен Multi-Agent Deep Q-Learning (MADQN), который расширяет DQN для многосубъектных сред, обеспечивая улучшение координации между агентами [4].

MADDPG представляет собой улучшение стандартного алгоритма DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient), который был адаптирован для работы в мультиагентных системах. В отличие от Q-learning, где используется стратегия обучения с наградами, MADDPG основывается на методах градиентного спуска, где агенты обучают свои политики с использованием детерминированных стратегий. Это позволяет MADDPG эффективно решать задачи с непрерывным пространством действий, что делает его полезным в таких областях, как робототехника и управление автономными транспортными средствами.

В мультиагентных системах MADDPG представляет собой метод центрированного обучения с децентрализованным выполнением (Centralized Training with Decentralized Execution, CTDE), что позволяет агентам обучаться с учетом информации о действиях других агентов в процессе обучения, но затем выполнять свои действия независимо. Этот подход повышает стабильность и эффективность в сложных многозадачных и многопользовательских системах, где требуется высокая степень координации [5].

COMA – это алгоритм, который использует контрфактуальный анализ для улучшения координации между агентами. Он представляет собой расширение методов градиентного спуска, использующих политику агентов для определения их стратегий в мультиагентных системах. Контрфактуальный анализ позволяет учитывать, как действия одного агента влияют на действия других агентов, что дает возможность повышать эффективность коллективных действий. Это особенно важно

в играх с несколькими участниками, где каждый агент должен учитывать последствия своих действий для других участников.

COMA использует концепцию групповой награды, при которой агенты стремятся максимизировать не только свою индивидуальную награду, но и улучшить координацию с другими агентами, чтобы добиться более эффективного коллективного результата. Это позволяет решать задачи, требующие высокого уровня взаимодействия, такие как игры с командными элементами, распределение ресурсов или управление многими автономными системами [6].

Заключение

В данной статье рассматриваются алгоритмы обучения с подкреплением, применяемые в мультиагентных системах, с акцентом на их особенности, преимущества и ограничения. Оценены различные подходы к обучению агентов, включая независимое и координированное обучение, а также методы, основанные на централизованном обучении с децентрализованным выполнением. Подчеркивается важность разработки гибридных методов для эффективного взаимодействия агентов, что способствует решению более сложных задач в динамичных и неопределённых средах. Исследование и внедрение таких методов может значительно повысить производительность мультиагентных систем и расширить их применение в реальных сценариях.

Список литературы

1. Chen, C. An interdisciplinary agent-based evacuation model: integrating the natural environment, built environment, and social system for community preparedness and resilience / C. Chen, C. Koll, H. Wang, M. K. Lindell // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2023. – Vol. 23. – P. 733-749.

2. Петренко, В. И. Классификация задач мультиагентного обучения с подкреплением / В. И. Петренко // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2021. – № 3. – С. 32-44.

3. Большаков, В. Э. Мультиагентное обучение с подкреплением с использованием коллективной внутренней мотивации / В. Э. Большаков, С. А. Сакулин, А. Н. Алфимцев // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия : Приборостроение. – 2023. – № 4. – С. 61-84.

4. Акула, К. А. Обучение с подкреплением мультиагентных систем / К. А. Акула, А. В. Сидоренко // Белорусский государственный университет. – 2020. – С. 140-143.

5. Lowe, R. Multi-Agent Actor-Critic for Mixed Cooperative-Competitive Environments / R. Lowe, Y. Wu, A. Tamar [и др.] // ArXiv. – 2018. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://arxiv.org/abs/1706.02275 (дата обращения: 18.11.2024).

6. Foerster, J. Counterfactual multi-agent policy gradients / J. Foerster, G. Farquhar, T. Afouras [и др.] // ArXiv. – 2017. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1705.08926 (дата обращения: 27.11.2024).

Анализ тематической структуры коллекции статей научной конференции

А.В. Сычев, email: sav@cs.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В докладе рассматривается задача анализа тематической структуры коллекции статей научной конференции на примере материалов Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова «Информатика: проблемы, методы, технологии». Для решения данной задачи применялся метод тематического моделирования на основе модели векторного представления слов Word2Vec. Приводится описание предложенной автором методики и результаты ее применения к текстовой коллекции.*

Ключевые слова: *текст, статья, термины, словарь, тематическое моделирование, лемматизация, Word2Vec, кластеризация, пересечение множеств, диагностика.*

Введение

Тематическое моделирование (ТМ) текстов является одной ключевых тем для технологий обработки данных на естественном языке.

Было предложено множество теоретических и практических решений для автоматического ТМ, обеспечивающих, возможно, корректные с точки зрения семантики результаты, но выносящих за рамки рассмотрения аспект прагматики. Человек-эксперт легко может решать задачу ТМ на уровне семантики и прагматики, но при больших объемах данных выводы эксперта неизбежно будут искажаться его субъективностью.

Разработка методики композиции объективных машинно-ориентированных подходов к ТМ и экспертных прагматико-ориентированных оценок (предпочтений) в отношении тематической структуры текстовой коллекции любой природы может представлять практический интерес для широкого класса задач, связанных с обработкой текстовых данных.

В работах [3-5] уже рассматривалась задача тематической кластеризация коллекции коротких текстовых сообщений, в том числе на основе метода Word2Vec [1][2].

© Сычев А.В., 2025

В данной статье представляются и обсуждаются результаты исследования, нацеленного на практическое приложение ТМ для анализа тематической структуры научной конференции на примере трудов конференции "Международная научно-практическая конференция им. Э.К. Алгазинова «Информатика: проблемы, методы, технологии» (IPMT 2024)".

1. Исходные данные

Для целей исследования был использован набор статей конференции IPMT 2024 [6], которые были распределены по 8 секциям. Характеристики коллекции приведены в таблице 1.

Таблица 1. Состав корпуса статей конференции IPMT-2024

	Название секции	Статей	Леммы в заголовке (в среднем)	Леммы в теле (в среднем)
	Методы и технологии разработки программных систем (МТРПС)	18	43	973
	Компьютерное моделирование в фундаментальных и прикладных исследованиях (КМФПИ)	59	93	943
	Технологии обработки и защиты информации (ТОЗИ)	38	123	1100
	Информационные системы и базы данных (ИСБД)	15	40	773
	Прикладное моделирование и E-business (ПМЭБ)	29	169	909
	Интеллектуальные информационные системы, компьютерная лингвистика, технологии информационного поиска (ИИС)	21	56	1076
	Суперкомпьютерные вычисления и BigData. Квантовые информационные	6	36	579

	системы (СВБД)			
	САПР и цифровые технологии (САПР)	10	179	818

Содержание статей структурировалось так, как это показано на рисунке 1. Соответственно анализ проводился отдельно для заголовков и тела статей в корпусе.

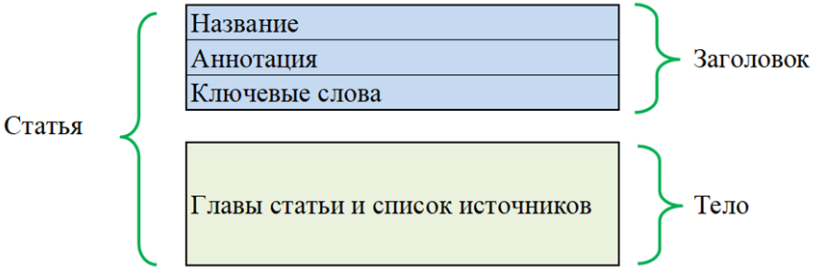


Рис. 1. Структура статьи на конференции IPMT-2024.

2. Машинный эксперимент

Алгоритм анализа включал в себя следующие шаги:

- Обучение глобальной Word2Vec модели для всей коллекции в целом.
- Обучение частных Word2Vec моделей для каждого тематического подмножества (секции) в коллекции.
- Кластеризация терминов глобального словаря на основе их Word2Vec векторов.
- Поиск пересечений между полученными кластерами и словарями тематических подмножеств.

Далее приводятся результаты эксперимента отдельно для заголовков и для тела статей.

Заголовки статей

На рисунке 2 приведено распределение терминов тематических словарей по частотности их использования в тематических секциях.

Первый шаг исследования – расчет пересечения словарей, относящихся к разным тематикам-секциям. Результат приведен в таблице 2.

Кластеризация терминов глобального словаря была проведена на основе их Word2Vec представления. Параметры обучения модели Word2Vec: размерность вектора – 150, размер контекстного окна просмотра – 5, минимальная частота термина в коллекции (частотный фильтр) – 3, параметр SVD редукции – 10.

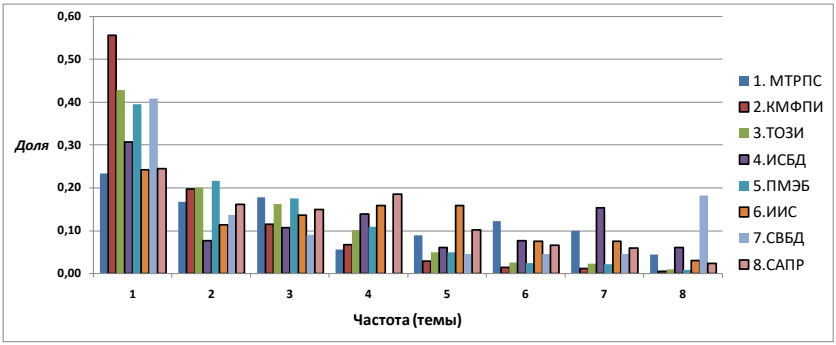


Рис. 2. Заголовки статей. Оценка специфичности словаря

Для сформированных кластеров была выполнена оценка пересечения между ними и тематическими словарями. В таблице 3 приведены результаты оценки. При этом у тематических словарей учитывались только уникальные термины. Результаты анализа с учетом всех терминов тематических словарей приведены в таблице 4.

Таблица 2. Заголовки статей. Пересечение словарей секций.

Тема 1	Тема 2							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00	0,05	0,07	0,06	0,04	0,09	0,01	0,05
2	0,05	1,00	0,13	0,03	0,16	0,07	0,01	0,08
3	0,07	0,13	1,00	0,02	0,12	0,09	0,01	0,07
4	0,06	0,03	0,02	1,00	0,04	0,06	0,02	0,07
5	0,04	0,16	0,12	0,04	1,00	0,08	0,00	0,13
6	0,09	0,07	0,09	0,06	0,08	1,00	0,01	0,11

7	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	1,00	0,01
8	0,05	0,08	0,07	0,07	0,13	0,11	0,01	1,00

Тело статей

Отдельно эксперимент проводился для корпуса текстов, сформулированных из тела статей.

Кластеризация терминов глобального словаря была проведена на основе их Word2Vec представления. Параметры обучения модели Word2Vec: размерность вектора – 300, размер контекстного окна просмотра – 10, минимальная частота термина в коллекции (частотный фильтр) – 5, параметр SVD редукции – 30.

Таблица 3. Заголовки статей. Пересечение «кластеры-темы». Уникальные термины.

Кластер	Тема							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,003	0,143	0,049	0,004	0,044	0,005	0,002	0,006
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,008	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 4. Заголовки статей. Пересечение «кластеры-темы». Все термины.

Кластер	Тема							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,02	0,01	0,00	0,06	0,01	0,02	0,05	0,02
1	0,04	0,41	0,23	0,03	0,24	0,05	0,01	0,07
2	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06	0,00	0,08
3	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
7	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01

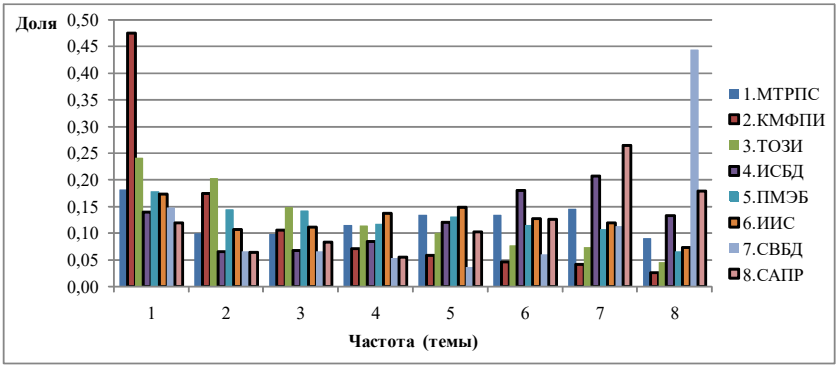


Рис. 3. Тело статей. Оценка специфичности словаря.

Результаты расчета пересечения словарей, относящихся к разным тематикам-секциям, приведены в таблице 5.

Для сформированных кластеров была выполнена оценка пересечения между ними и тематическими словарями. В таблице 6 приведены результаты оценки. При этом у тематических словарей учитывались только уникальные термины. Результаты анализа с учетом всех терминов тематических словарей приведены в таблице 7.

Таблица 5. Тело статей. Пересечение словарей секций.

Тема 1	Тема 2							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00	0,16	0,23	0,22	0,22	0,25	0,09	0,18
2	0,16	1,00	0,28	0,12	0,22	0,20	0,04	0,10
3	0,23	0,28	1,00	0,18	0,26	0,29	0,06	0,13
4	0,22	0,12	0,18	1,00	0,25	0,24	0,09	0,22
5	0,22	0,22	0,26	0,25	1,00	0,28	0,06	0,19
6	0,25	0,20	0,29	0,24	0,28	1,00	0,07	0,18
7	0,09	0,04	0,06	0,09	0,06	0,07	1,00	0,12
8	0,18	0,10	0,13	0,22	0,19	0,18	0,12	1,00

3. Обсуждение результатов эксперимента

В разделе 3 были приведены результаты машинного эксперимента проведенного для набора текстов, сформированного из научной статей конференции IPMT 2024.

Таблица 6. Тело статей. Пересечение «кластеры-темы». Уникальные термины.

Кластер	Тема							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,003	0,099	0,015	0,001	0,006	0,007	0,001	0,001
1	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,

	000	012	000	000	000	000	000	000
2	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,002	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 7. Тело статей. Пересечение «кластеры-темы». Все термины.

Кластер	Тема							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,02	0,21	0,07	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00
1	0,02	0,09	0,03	0,02	0,04	0,02	0,00	0,01
2	0,09	0,05	0,07	0,09	0,07	0,08	0,03	0,08
3	0,03	0,04	0,03	0,05	0,10	0,04	0,01	0,03
4	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
5	0,02	0,04	0,06	0,02	0,04	0,05	0,00	0,01
6	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01
7	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,04	0,01	0,03
8	0,02	0,06	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00

Эксперимент включал в себя формирование словарей для всей коллекции в целом и для каждой секции в отдельности, оценку специфичности терминов и пересечение словарей тематических секций, кластеризацию терминов глобального словаря на основе их векторного Word2Vec представления, вычисления пересечения сформированных кластеров и тематических словарей секций. Перечисленные задачи решались отдельно для заголовков и тела статей.

Для заголовков характерен больший удельный вес уникальных терминов в тематических словарях: от 23% до 56% в различных секциях, напротив, в теле статей характерно более равномерное распределение по частоте встречаемости терминов словарей в разных секциях (от 12% до 47% уникальных терминов). По показателю уникальности особо выделяется секция № 2 «Компьютерное моделирование в фундаментальных и прикладных исследованиях», в которой доклады отражают вопросы компьютерного моделирования по самому широкому спектру предметных областей.

Оценка близости тематик секций по степени пересечения их словарей варьируется от 1% до 16% для заголовков и от 4% до 29% для тела статей. Наблюдается высокая степень близости тематик для некоторых пар тематик, например 2 – 3 и 3 – 5 (по заголовкам и телу статей). Секция 6 по телу статей сильно пересекается с секциями 1, 3, 4, 5.

Кластеризация глобального словаря терминов на основе их векторного Word2Vec представления демонстрирует сильную неравномерность распределения терминов. Существенно больше половины всего словаря оказалось в одном кластере. Сопоставление полученных кластеров с тематическими словарями секций дает дополнительную информацию о характере связей между секциями. Ядро самого большого кластера оказалось сформированным в значительной степени терминами словаря тематической секции №2.

Заключение

Метод тематического моделирования на основе модели векторного представления слов Word2Vec, позволяющей практически использовать информацию о совместном появлении слов и их контекста, можно рассматривать как один из инструментов анализа имеющейся тематической структуры корпуса текстов.

Для корпуса статей научной статей конференции IPMT 2024 был проведен машинный эксперимент, в результате которого были получены численные оценки, позволившие сделать содержательные выводы о характере связей между тематиками секций.

Список литературы

1. Du Q, Li N, Liu W, Sun D, Yang S, Yue F.: A topic recognition method of news text based on word embedding enhancement. Computational Intelli-gence and Neuroscience. Volume 2022(7): pp. 1–15 (2022). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://doi.org/10.1155/2022/4582480

2. Angelov D.: Top2Vec: Distributed Representations of Topics (2020). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.09470.

3. Sychev, A.V.: Diagnostics of the Topic Model for a Collection of Text Messages Based on Hierarchical Clustering of Terms. Lobachevskii J Math 44, 219–226 (2023). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://doi.org/10.1134/S1995080223010390

4. Сычев, А.В.: Нечеткая тематическая кластеризация коллекции коротких текстовых сообщений на основе латентного размещения Дирихле / А. В. Сычев // Информатика: проблемы, методы, технологии : материалы 23-й Международной научно-методической конференции им. Э.К. Алгазинова. Воронеж, 15-17 февраля 2023 г. Воронеж, 2023. С. 1086-1090.

5. Сычев, А.В.: Тематическая кластеризация коллекции коротких текстовых сообщений на основе метода Word2Vec / А. В. Сычев // Информатика: проблемы, методы, технологии : материалы 24-й Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова. Воронеж, 14-15 февраля 2024 г. Воронеж, 2024. С. 1245-1251.

6. Информатика: проблемы, методы, технологии: материалы 24-й Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова. Воронеж, 14-15 февраля 2024 г. Воронеж, 2024. – 1676 С. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cs.vsu.ru/ipmt-conf/conf/2024/Proceeding_IPMT_2024.pdf

Обзор методов дополненной генерации текста (Retrieval-Augmented Generation)

А. А. Ушакова, email: ushakova@cs.vsu.ru
В. В. Гаршина, email: garshina@cs.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В статье рассматриваются современные методы дополненной генерации текста (RAG, GraphRAG, KAG). Приводится описание ключевых принципов и особенностей этих методов, включая их сильные и слабые стороны, а также область применения.*

Ключевые слова: *дополненная генерация текста, архитектуры RAG, GraphRAG, KAG, интеграция внешних источников данных, поиск информации.*

Введение

Современные большие языковые модели (LLM) демонстрируют впечатляющие возможности в обработке естественного языка, однако они сталкиваются с рядом ограничений, связанных с извлечением актуальной информации из внешних источников, обработкой сложных взаимосвязей и обеспечением контекстной точности ответов. Для решения этих задач были разработаны различные подходы, такие как Retrieval-Augmented Generation (RAG), GraphRAG и Knowledge-Augmented Generation (KAG), которые направлены на расширение возможностей языковых моделей за счет интеграции внешних знаний и улучшенной обработки информации.

В данной работе рассматриваются ключевые особенности, преимущества и недостатки подходов RAG, GraphRAG и KAG, а также их применение в различных сферах. Сравнение этих технологий позволит лучше понять их возможности и выбрать наиболее подходящий подход для конкретных задач.

1. Retrieval-Augmented Generation (RAG) подход

Традиционный RAG в основном состоит из трех частей: индексации, поиска и генерации (рис. 1).

Индексация начинается с очистки и извлечения необработанных данных в различных форматах, таких как PDF, HTML, Word и Markdown, которые затем преобразуются в единый формат простого текста. Чтобы учесть ограничения контекста языковых моделей, текст

© Ушакова А. А., Гаршина В. В., 2025

сегментируется на более мелкие, легко усваиваемые фрагменты. Затем фрагменты кодируются в векторные представления с использованием модели встраивания и сохраняются в векторной базе данных. Этот шаг имеет решающее значение для обеспечения эффективного поиска по сходству на последующей фазе извлечения.

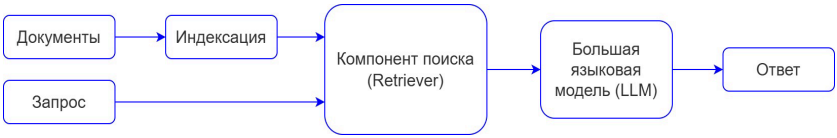


Рис. 1. Архитектура RAG системы

Извлечение. При получении запроса пользователя система RAG использует ту же модель кодирования, которая использовалась на этапе индексации, чтобы преобразовать запрос в векторное представление. Затем она вычисляет оценки сходства между вектором запроса и вектором фрагментов в индексированном корпусе. Система расставляет приоритеты и извлекает верхние K фрагментов, которые демонстрируют наибольшее сходство с запросом. Эти фрагменты впоследствии используются в качестве расширенного контекста в подсказке.

Генерация. Поставленный запрос и выбранные документы синтезируются в связный запрос, на который большая языковая модель должна сформулировать ответ. Подход модели к ответу может варьироваться в зависимости от критериев, специфичных для задачи, что позволяет ей либо опираться на свои собственные параметрические знания, либо ограничивать свои ответы информацией, содержащейся в предоставленных документах. В случае продолжающихся диалогов любая существующая история разговора может быть интегрирована в запрос, что позволяет модели эффективно участвовать в многооборотных диалоговых взаимодействиях.

2. GraphRAG подход

В отличие от базового RAG, который использует векторную базу данных для извлечения семантически похожего текста, GraphRAG улучшает RAG с помощью графов знаний. Пайплайн GraphRAG (рис. 2) обычно состоит из двух основных процессов: индексации и запросов.

Процесс индексации включает четыре основных этапа:

1. Сегментация текстовых единиц: весь входной корпус делится на несколько текстовых единиц (текстовых фрагментов). Эти фрагменты являются наименьшими анализируемыми единицами и могут быть абзацами, предложениями или другими логическими единицами.

Сегментируя длинные документы на более мелкие фрагменты, можно извлекать и сохранять более подробную информацию об этих входных данных.

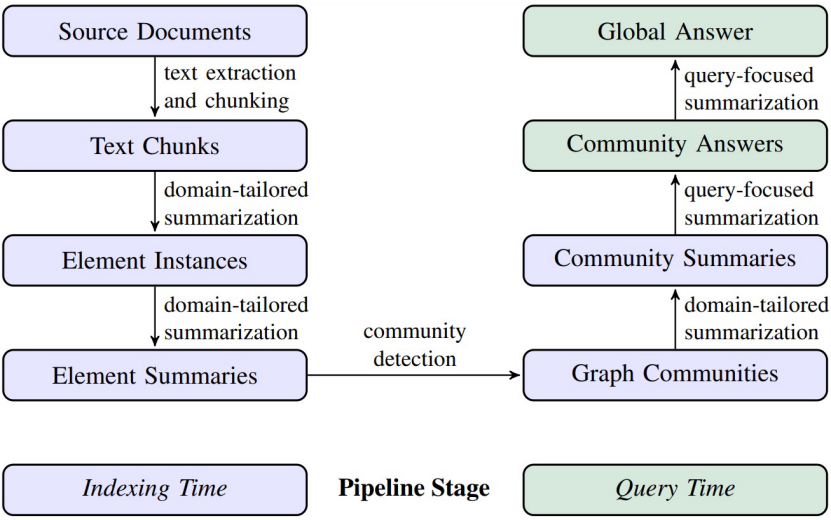


Рис. 2. Пайплайн GraphRAG [1]

2. Извлечение сущностей, связей и утверждений: GraphRAG использует большую языковую модель для идентификации и извлечения всех сущностей (имен людей, мест, организаций и т. д.), связей между ними и ключевых утверждений, выраженных в тексте из каждой текстовой единицы. Эта извлеченная информация используется для построения начального графа знаний.

3. Иерархическая кластеризация: GraphRAG использует технику Лейдена для выполнения иерархической кластеризации на исходных графах знаний. Лейден – это алгоритм обнаружения сообществ, который может эффективно обнаруживать структуры сообществ в графе. Сущности в каждом кластере назначаются различным сообществам для более глубокого анализа.

4. В GraphRAG предусмотрено два различных рабочих процесса запросов, предназначенных для разных запросов. Глобальный поиск рассуждений по целостным вопросам, связанным со всем корпусом данных, путем использования сводок сообщества. Локальный поиск для рассуждений о конкретных сущностях путем распространения на их соседей и связанные с ними концепции.

В GraphRAG предусмотрено два различных рабочих процесса запросов, предназначенных для разных запросов. Глобальный поиск рассуждений по целостным вопросам, связанным со всем корпусом данных, путем использования сводок сообщества. Локальный поиск для рассуждений о конкретных сущностях путем распространения на их соседей и связанные с ними концепции.

3. Knowledge-Augmented Generation (KAG) подход

Появление KAG знаменует собой решающий шаг в области ИИ, особенно в расширении возможностей больших языковых моделей. KAG объединяет структурированные рассуждения графов знаний с универсальностью языковых моделей, создавая структуру, способную генерировать последовательные, логичные и точные в предметной области результаты. Это нововведение особенно ценно в таких профессиональных областях, как здравоохранение, юриспруденция и административные услуги, где точность и контекстное понимание имеют решающее значение.

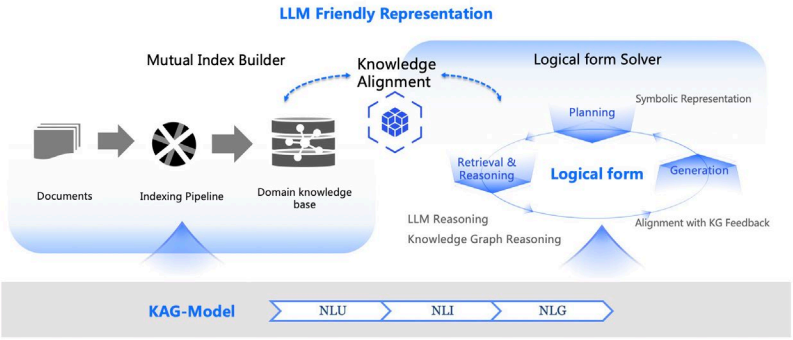


Рис. 3. KAG фреймворк [2]

На рис. 3 представлены основные компоненты KAG фреймворка. KAG работает через взаимосвязанную структуру модулей, каждый из которых разработан для улучшения определенных аспектов поиска знаний, рассуждений и генерации. Ключевые компоненты включают:

Представление знаний, удобное для LLM (LLM Friendly Knowledge Representation). Основа KAG заключается в его способности представлять знания таким образом, чтобы они были доступны и интерпретируемы LLM. Используя фреймворк LLMFriSPG, KAG организует информацию иерархически, вдохновленную моделью DIKW (data, information, knowledge, wisdom). Эта структура объединяет:

– Извлечение знаний без использования схем для широкого охвата
– Интеграция знаний, ограниченная схемой, для обеспечения высокой точности и логической согласованности
– Совместимость текстовых данных и графовых структур, обеспечивающая плавный переход между неструктурированными и структурированными знаниями

Взаимная индексация между графами и текстом (Mutual Indexing Between Graphs and Text). KAG использует систему взаимной индексации для преодоления разрыва между текстовыми данными и структурированными графами знаний. Эта индексация связывает узлы графа знаний с текстовыми фрагментами, обеспечивая эффективную навигацию и извлечение. Подход гарантирует, что система сохраняет контекст, одновременно повышая точность извлечения, особенно в задачах на многошаговое рассуждение.

Логическое обоснование формы (Logical-Form-Guided Reasoning). Одной из выдающихся особенностей KAG является его логико-ориентированный механизм рассуждений. Разбивая сложные запросы на более мелкие подзадачи, KAG использует символическую логику, семантическое рассуждение и числовые вычисления для получения точных ответов. Например:

– Запрос, состоящий из нескольких шагов, разбивается на подвопросы
– Каждый подвопрос подвергается извлечению, вычислению или выводу для получения промежуточных ответов
– Промежуточные результаты объединяются для формирования окончательного, связного ответа.

Этот процесс имитирует аналитическое мышление человека и значительно повышает точность получаемых результатов.

Выравнивание знаний (Knowledge Alignment)

Для обеспечения согласованности и снижения избыточности KAG использует передовые методы выравнивания знаний. Эти методы организуют фрагментированные или зашумленные знания в структурированные, семантически насыщенные форматы. Выравнивание включает:

– Стандартизация синонимичных сущностей и отношений
– Интеграция иерархических отношений, таких как гиперонимы и ассоциации «часть-целое»
– Устранение пробелов в разрозненных знаниях путем объединения взаимосвязанных концепций в графе знаний

4. Сравнение RAG, GraphRAG, KAG подходов

Традиционные методы RAG значительно улучшили извлечение предметно-ориентированных знаний для языковых моделей. Однако эти системы сталкиваются с рядом проблем:

Проблемы с извлечением информации. На этапе извлечения информации часто возникают трудности с точностью, что приводит к выбору несоответствующих или нерелевантных фрагментов и потере важной информации.

Трудности генерации. При генерации ответов модель может столкнуться с проблемой галлюцинации, когда она производит контент, не поддерживаемый извлеченным контекстом. Эта фаза также может страдать от нерелевантности, токсичности или предвзятости в выходных данных, что снижает качество и надежность ответов.

Препятствия к дополнению. Интеграция извлеченной информации с другой задачей может быть сложной, иногда приводя к разрозненным или непоследовательным результатам. Процесс также может столкнуться с избыточностью, когда одинаковая информация извлекается из нескольких источников, что приводит к повторяющимся ответам. Определение значимости и релевантности различных отрывков и обеспечение стилистической и тональной согласованности добавляют еще больше сложности. Сталкиваясь со сложными проблемами, одного извлечения на основе исходного запроса может быть недостаточно для получения адекватной контекстной информации.

GraphRAG значительно улучшает многошаговое рассуждение и сложное суммирование информации. GraphRAG превосходит Традиционный RAG как по полноте, так и по разнообразию: полнота определяется как степень, в которой ответ охватывает все аспекты вопроса, а разнообразие отражает богатство точек зрения и идей, содержащихся в ответе.

GraphRAG и KAG устраняют недостатки RAG, связанные с поверхностным анализом данных, и предлагает более детальное представление знаний благодаря использованию графов.

Хотя и KAG, и GraphRAG используют графы знаний, между ними существуют значительные различия. GraphRAG использует общий граф знаний для поиска, но ему не хватает глубокого рассуждения, тогда как KAG создает специализированные графы знаний для конкретных областей и использует продвинутые механизмы интерпретации информации.

Что касается точности и уровня ошибок, GraphRAG превосходит традиционный RAG, но все еще подвержен ошибкам в сложных запросах, тогда как KAG обеспечивает профессиональный уровень

точности благодаря комбинированию поиска, рассуждения и выравнивания графов.

В таблице представлено сравнение RAG, GraphRAG, KAG подходов.

Таблица

Сравнительная характеристика RAG, GraphRAG, KAG подходов

Метод	RAG	GraphRAG	KAG
Источник знаний	Текстовый корпус	Структурированные графы знаний	Внешние базы знаний (структурированные или неструктурированные)
Представление знаний	Неструктурированный текст	Узлы (сущности) и ребра (связи)	Структурированные эмбеддинги сущностей графа знаний и контекста
Механизм извлечения	Поиск текста (например, плотный или разреженный векторный поиск)	Обход на основе графа или многоэтапное рассуждение	Извлечение на основе эмбеддингов, использующее точно настроенные модели сущностей
Интеграция	Прямое использование извлеченного текста через механизмы внимания	Внедряет реляционные знания с помощью графовых моделей	Динамически интегрирует эмбеддинги знаний в большие языковые модели
Способность рассуждать	Ограничена контекстом уровня документа	Многошаговое рассуждение по графовым структурам	Гибкое, сущностно-ориентированное рассуждение с неявными связями

Продолжение таблицы

Метод	RAG	GraphRAG	KAG
Сильные стороны	Поиск на уровне документа	Сложные рассуждения, задачи, зависящие от связей	Широкое обобщение, адаптация к конкретной области
Ограничения	Неэффективно для реляционных задач	Зависимость от качества графа знаний и покрытия	Требует высококачественно внедрения и интеграции знаний
Задачи	Ответы на часто задаваемые вопросы, обобщение на основе поиска	Области, ориентированные на сущности, такие как здравоохранение и финансы	Общие вопросно-ответные задачи, творческие задачи, доменно-специфические генерации

Заключение

Подходы RAG, GraphRAG и KAG представляют собой значительный шаг вперед в области генерации текста с использованием языковых моделей, позволяя более эффективно использовать внешние источники знаний для улучшения качества и точности ответов. Каждый из этих подходов решает различные задачи и устраняет присущие им ограничения, предоставляя пользователям гибкие инструменты для обработки сложных запросов.

Таким образом, выбор между RAG, GraphRAG и KAG зависит от конкретных требований задачи. RAG остается эффективным для общих задач поиска и генерации, GraphRAG лучше подходит для анализа взаимосвязанных данных, а KAG обеспечивает максимальную точность и полноту в специализированных областях. Продолжение развития этих подходов открывает новые возможности для интеллектуальных систем, способных глубже анализировать и интерпретировать сложные текстовые данные.

Список литературы

1. Эдж, Д., Чинь, Х., Чэн, Н., Брадли, Д., et al. From Local to Global: A Graph RAG Approach to Query-Focused Summarization // arXiv.org. – 2024. – № arXiv:2404.16130. – [Электронный ресурс]. –

Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2404.16130 (Дата обращения: 23.01.2025).

2. Лян, Л., Сун, М., Гуй, Ч., Чжу, Ч., et al. KAG: Boosting LLMs in Professional Domains via Knowledge Augmented Generation // arXiv.org. – 2024. – № arXiv:2409.13731. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2409.13731 (Дата обращения: 23.01.2025).

3. Гао, Ю., Сюн, Ю., Гао, С., Цзя, К., et al. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey // arXiv.org. – 2024. – № arXiv:2312.10997. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2312.10997 (Дата обращения: 23.01.2025).

4. Чжао, С., Ян, Ю., Ван, З., Хэ, Ч., et al. Retrieval Augmented Generation (RAG) and Beyond: A Comprehensive Survey on How to Make your LLMs use External Data More // arXiv.org. – 2024. – № arXiv:2409.14924. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2409.14924 (Дата обращения: 23.01.2025).

5. Хань, Х., Ван, Ю., Шомер, Х., Го, К., et al. Retrieval-Augmented Generation with Graphs (GraphRAG) // arXiv.org. – 2025. – № arXiv:2501.00309. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2501.00309 (Дата обращения: 23.01.2025).

6. Неха, Ф., Бхати, Д., Шукла, Д. A Survey of Generative AI Advancements (2018-2024) and Their Applications in Kidney Care. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI:10.13140/RG.2.2.32306.93127

Разработка алгоритма наименования кластеров при автоматизированном формировании критериев оценивания на программный продукт

Н. А. Экерт, e-mail: ekertn7@gmail.com
И. Е. Воронина, e-mail: irina.voronina@gmail.com

Воронежский Государственный Университет

Аннотация. *Рассматривается актуальная проблема настройки входных параметров алгоритма для разделения корпуса текста на кластеры и выдачи наименований для выявленных кластеров. В качестве предмета исследования выбраны подходы к обучению больших языковых моделей (Large Language Model). Приводятся результаты исследования по оценке применимости наиболее популярных подходов (fine-tuning и Retrieval-Augmented Generation) к обозначенной задаче. Предлагается алгоритм наименования кластеров при автоматизированном формировании критериев оценивания на программный продукт. Новизна результата заключается в доработке существующего алгоритма оценки обратной связи пользователей.*

Ключевые слова: *большие языковые модели, Large Language Model, LLM, оценка отзывов, Llama, суммаризация текстов, извлечение смыслов, кластеризация, Retrieval-Augmented Generation, формирование критериев оценивания.*

Введение

Современный рынок программного обеспечения характеризуется высокой конкуренцией, где ключевым фактором успешности является соответствие ожиданиям клиентов. Клиенты с помощью обратной связи, представленной в виде отзывов, сообщают о своих потребностях. Своевременный анализ этих отзывов имеет важное значение для улучшения программного продукта.

С ростом популярности приложения, количество отзывов увеличивается, что делает их анализ более сложным и требующим комплексной проработки. Количество факторов (критериев), которые необходимо учитывать при оценке отзывов, растет вместе с пользовательской базой и функциональными возможностями программного продукта.

Поскольку качество оценки обратной связи напрямую влияет на разработку дорожной карты продукта и внесение изменений, возникает

© Экерт Н. А., Воронина И. Е., 2025

потребность в автоматизации процесса выявления отклонений в работе программного обеспечения путем оценки отзывов. Для оценки отзывов было разработано несколько подходов и алгоритмов, при этом выявлена потребность в участии экспертов для наименования выявляемых алгоритмом кластеров и регулировки входных параметров.

В предыдущем исследовании уже было предложено решение данной задачи с помощью большой языковой модели (Large Language Model, LLM), проведен анализ и сравнение существующих языковых моделей в задачах краткого изложения (суммаризации) и извлечения смыслов из текста. В текущем исследовании планируется рассмотреть известные подходы к обучению LLM и предложить алгоритм наименования кластеров при автоматизированном формировании критериев оценивания на программный продукт.

1. Предварительная обработка данных

Формат обратной связи пользователей – это отзывы, представленные в электронной текстовой форме на русском языке. Допускаются вставки английских слов. Исключается использование ненормативной лексики. Отзывы представлены в виде набора данных, который содержит оценки всех доступных версий программного продукта.

Для корректной работы с неструктурированными текстовыми данными необходимо выполнить их предварительную обработку. Текст каждого отзыва разделяется на предложения, каждое из которых проходит процедуру токенизации (разделения на токены или слова) и лемматизации (приведения словоформы к начальной форме).

Для решения проблемы нахождения опечаток и орфографических ошибок в тексте был разработан контекстно-независимый алгоритм выбора варианта при нечетком сравнении строк [1]. Суть его работы заключается в том, что для слова составляется матрица символов-заменителей и каждому из этих символов ставится в соответствие весовой коэффициент из словаря. Весовой коэффициент для каждого слова-заменителя рассчитывается с учетом редакционного расстояния (в данном случае использовалось редакционное расстояние Левенштейна). Результатом работы алгоритма является подстановка на место слова с неверным написанием слова-заменителя с наибольшим коэффициентом уверенности. Таким образом, слово, содержащее орфографическую ошибку или опечатку, заменяется на наиболее подходящее слово из словаря.

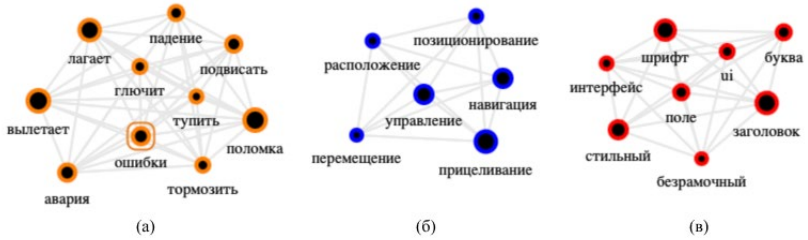
Данные были переведены в формат, пригодный для построения векторов слов: предложения разделены на массивы, содержащие отдельные слова, и объединены в один большой массив. Для каждого

слова было составлено его векторное представление с помощью обучения модели Word2Vec.

Для корректной интерпретации отзывов на программный продукт был разработан алгоритм формирования критериев оценивания [2]. В основе его идеи лежит принцип разделения корпуса текста на соответствующие каждому критерию кластеры. Разделение на кластеры осуществляется с помощью создания графового представления всего корпуса. Вершинами в таком графе являются слова, ребрами – отношения между словами, весовым коэффициентом ребер – значение сходства слов в векторном представлении. Рёбра, чьё значение весового коэффициента выходило за рамки выбранных значений, удалялись из графа.

Для разделения графа на кластеры был выбран алгоритм поиска слабо связанных компонентов, так как он позволяет разделить граф на подграфы, между вершинами которых существует хотя бы одна связь.

С помощью данного способа удалось выявить неочевидные критерии оценивания программного обеспечения, характеризующие потребности пользователя. Пример результата распределения корпуса текста на тематические кластеры представлен на рисунке 1.



а – группа отзывов с оценкой стабильности работы приложения, б – группа отзывов с оценкой удобства использования приложения, в – группа отзывов с оценкой читаемости текста приложения

Рис. 1. Результат разделения корпуса текста на тематические кластеры

Важно заметить, что наименование кластеров производилось с помощью привлечения экспертов, что является не эффективным способом, особенно, если таких кластеров большое количество.

Также, в процессе эксперимента, необходимо было эмпирическим методом подбирать минимальное значение сходства слов для разделения графа на тематические кластеры. При такой настройке необходимо производить множество итераций для поиска оптимальных значений.

Тематики разных кластеров не должны накладываться друг на друга. В то же время, нужно найти максимальное количество кластеров для учитывания разнообразных критериев.

2. Анализ методов обучения большой языковой модели

Учитывая наличие нечетких критериев оценивания при формировании кластеров, а также взрывной рост использования больших языковых моделей для решения задач, связанных с распознаванием естественного языка и анализом текстовых данных, большая языковая модель Llama 3.1 на 70 миллиардов параметров была выбрана в качестве эксперта [3, 4].

Ее результаты в задаче выделения основной мысли из текстовых данных оказались выше или наравне с другими проанализированными моделями (GPT 4 Omni, Claude 3.5 Sonnet, Llama 3.1:8b, Llama 3.1:405b, Gemini 1.5 Pro, Giga Chat Pro, Phi 3 Medium, Gemma 2, Mistral Nemo). Ее преимуществом также является возможность локального развертывания и простой интеграции с уже имеющимися программными продуктами.

На сегодняшний день появилась более актуальная версия – Lama 3.3 на те же 70 миллиардов параметров [5]. Она обучена на расширенном наборе данных и отличается от своей предшественницы улучшенной производительностью квантованной версии. Так, версия модели Llama 3.3:70b в ряде тестов показывает сопоставимые результаты с моделью Llama 3.1:405b. Для дальнейших экспериментов, выбрана актуальная модель Llama 3.3 на 70 миллиардов параметров с квантизацией INT4.

Существует два метода обучения больших языковых моделей: fine-tuning и RAG.

Fine-tuning – это процесс адаптации предварительно обученной LLM к конкретной задаче или предметной области путём обновления параметров на новом наборе данных. Для обучения, необходимо подготовить набор данных, состоящий из инструкций и ответов модели и выбрать подходящий метод обучения, например LoRA или QLoRA.

LoRA (Low-Rank Adaptation) – это метод для эффективной точной настройки предварительно обученных языковых моделей путём внедрения обучаемых матриц низкого ранга в каждый уровень архитектуры Transformer [6]. Основной целью данного метода обучения является уменьшение количества обучаемых параметров и снижение вычислительной нагрузки при сохранении или улучшении производительности модели в последующих задачах.

QLoRA (Quantized Low-Rank Adaptation) – это расширение LoRA, в котором дополнительно вводится квантование для повышения эффективности параметров [7].

Данный способ обучения позволяет также изменить характер ответов модели. Это возможно благодаря пересчету весов модели в процессе обучения. Однако, fine-tuning требует значительных временных и вычислительных затрат, что делает затруднительным проведение многочисленных экспериментов в рамках планируемого исследования.

Retrieval-Augmented Generation (RAG) – это технология, сочетающая в себе поиск релевантной информации в существующих хранилищах данных и генерацию текста с помощью языковых моделей [8, 9]. Она позволяет LLM обращаться к внешним источникам знаний, таким как документы или базы данных, и включать соответствующую информацию в свой вывод. Например, с помощью RAG можно сгенерировать краткое содержание новостной статьи, извлекая связанные с ней тексты и используя их в качестве дополнительного контекста. Схема работы при использовании Retrieval-Augmented Generation представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Retrieval-Augmented Generation

В данном подходе используется дополнительная модель, предназначенная для векторизации текстовых данных, а также векторная база данных для хранения информации. Необходимо сформировать базу знаний на основе выбранной предметной области, векторизовать и сохранить ее. Также, необходимо разработать промежуточный слой для взаимодействия с пользователем. Пользовательский запрос векторизуется и проходит процедуру сравнениями с данными из векторизованной базы знаний, выбирается наиболее похожий вариант. На основе данных из базы знаний, пользовательского запроса и инструкции, формируется промпт, который направляется в языковую модель.

Для дальнейшего использования выбран подход к обучению модели, в основе которого лежат принципы RAG. Это позволит

сэкономить вычислительные ресурсы и сократить время на проведение экспериментального исследования.

3. Алгоритм наименования кластеров

Предлагается алгоритм наименования кластеров и определения пороговых значений при автоматизированном формировании критериев оценивания на программный продукт.

В основе заложены принципы, используемые при обучении с помощью Retrieval-Augmented Generation: используется векторная база знаний и автоматическое формирование промпта. Однако, в данном случае отсутствует непосредственное взаимодействие с пользователем, поэтому в запрос для LLM передаются только данные и инструкция. Одна и та же языковая модель используется для двух задач – корректировки пороговых значений и наименования кластеров с отзывами. Схема работы подхода имитацией RAG продемонстрирована на рисунке 3.

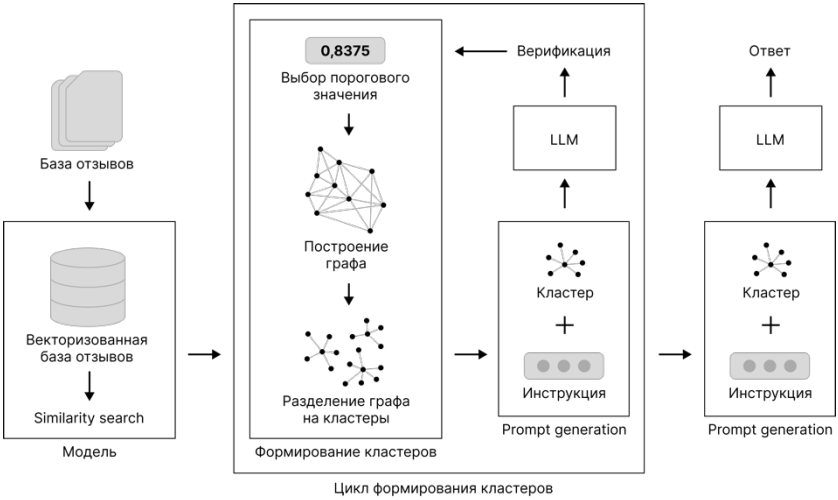


Рис. 3. Имитация Retrieval-Augmented Generation

Сначала проходит первая итерация формирования кластеров с выбором среднего показателя порогового значения, после чего кластеры передаются в языковую модель для верификации данных. Если модель устанавливает, что некоторые кластеры можно разделить на подкластеры, то происходит корректировка порогового значения и повторное разделение графа на кластеры. При этом, не разделяемые

кластеры исключаются из графа. Итерация продолжается до тех пор, пока граф не опустеет.

Далее все кластеры подаются в LLM для их наименования. Необходимо предусмотреть объединение для кластеров, чьи имена совпадают.

Текущий подход продемонстрировал свою жизнеспособность при проведении вычислительного эксперимента на предварительных данных. Для формирования окончательных выводов о качестве его работы, необходимо определить метрики и подходы к оценке алгоритма и провести сравнение дух подходов:

– с применением LLM для задачи наименования кластеров и определения пороговых значений при разделении графа на кластеры;

– с применением LLM в качестве экспертной системы, способной самостоятельно провести анализ отзывов и выявить приоритетные зоны развития программного продукта.

Заключение

Разработан алгоритм наименования кластеров для решения задач краткого изложения (суммаризации) и извлечения смыслов из текста. В качестве эксперта выступает большая языковая модель Llama 3.3 на 70 миллиардов параметров. Используется подход с имитацией Retrieval-Augmented Generation. В качестве следующего шага исследования, предлагается провести вычислительный эксперимент со сравнением текущего подхода и подхода с использованием LLM в качестве экспертной системы, способной самостоятельно провести весь анализ и выявить зоны развития программного продукта.

Планируется применение в корпоративных продуктах с целью прогнозирования развития бизнес-процесса.

Литература

1. Воронина, И. Е. Выбор варианта из множества решений при нечетком сравнении строк / И. Е. Воронина, Н. А. Экерт // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2023. – No.2. – С. 181-191.

2. Воронина, И.Е. Автоматизированное формирование критериев оценивания отзывов на программное обеспечение / И. Е. Воронина, Н. А. Экерт // Сборник трудов Международной научной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики». – 2023 – С. 169-174.

3. Ингерсолл, Г. С. Обработка неструктурированных текстов / Г. С. Ингерсолл, Т. С. Мортон, Э. Л. Фэррис ; Москва: ДМК Пресс, 2015. – 414 с.

4. Хобсон, Л. Обработка естественного языка в действии / Л. Хобсон, Х. Ханнес, Х. Коул ; СПб.: Питер, 2020. – 576 с.

5. Документация Llama 3.3. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.llama-api.com/quickstart (дата обращения: 17.01.2025).

6. Jiacheng, Hu. Optimizing Large Language Models with an Enhanced LoRA Fine-Tuning Algorithm for Efficiency and Robustness in NLP Tasks. / Jiacheng Hu, Xiaoxuan Liao, Jia Gao, Zhen Qi, et al. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI:10.48550/arXiv.2412.18729.

7. Dipankar, Sarkar. Viz: A QLoRA-based Copyright Marketplace for Legally Compliant Generative AI. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI: 10.48550/arXiv.2401.00503.

8. Angels, Balaguer. RAG vs Fine-tuning: Pipelines, Tradeoffs, and a Case Study on Agriculture. / Angels Balaguer, Vinamra Benara, Renato Luiz de Freitas Cunha, et al. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI:10.48550/arXiv.2401.08406.

9. Bowen, Jin. Long-Context LLMs Meet RAG: Overcoming Challenges for Long Inputs in RAG. / Bowen Jin, Jinsung Yoon, Jiawei Han, Sercan O. Arik. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: DOI: 10.48550/arXiv.2410.05983.

Секция 7
Суперкомпьютерные вычисления и BigData. Квантовые информационные системы

Опыт создания дата-центра на основе РЕД Виртуализации

А. С. Коваль, email: koval@cs.vsu.ru

Воронежский Государственный Университет

Аннотация. *Обсуждаются развертывание, администрирование и особенности системы управления серверным оборудованием и компьютерными ресурсами сети факультета компьютерных наук ВГУ на основе «РЕД Виртуализации» российской компании РЕД СОФТ.*

Ключевые слова: *виртуализация, системы управления виртуализацией, РЕД Виртуализация, oVirt.*

Введение

Сеть факультета компьютерных наук прошла путь развития от одиночного сервера до инфраструктуры, включающей в себя теперь и дата-центр небольшого масштаба. Далее рассматриваются вопросы развертывания, архитектуры, администрирования и производительности сетевой и серверной инфраструктуры, находящейся под управлением ПО РЕД Виртуализация.

1. Консолидация серверов

К 2010 году факультетская серверная насчитывала 10 серверов разных габаритов, производительности, каждый со своей историей поломок и апгрейдов. В 2011 году большинство серверов были консолидированы в виде виртуальных машин (ВМ) на гипервизорах XEN (с 2014 года KVM) двух физических серверов. Управление немногочисленными виртуальными машинами-серверами и подсетями виртуализации осуществлялось приложением virt-manager (Virtual Machine Manager) через API libvirt [1]. Несмотря на то, что большинство серверов факультета получилось «консолидировать» на двух физических, часть из них пришлось оставить в «физическом мире» из-за высоких требований к производительности ввода-вывода. Очевидно, что это коснулось файл-серверов и сервера баз данных. Проблемами того периода развития виртуализации были: невозможность полноценной миграции виртуальных машин между гипервизорами без прерывания работы «live migration» и сложности делегирования функций создания и управления виртуальными машинами. Выполнять регулярное резервное копирование для администратора и самостоятельно создавать и

© Коваль А. С., 2025

управлять виртуальными машинами пользователям (например, ответственным за веб-проекты) было сложно.

2. Развертывание системы управления виртуализацией

С 2018 года началась работа по развертыванию системы управления виртуализацией oVirt, облачной платформы OpenStack. Но в 2020 году, после заключения договора с российской компанией «РЕД СОФТ», был развёрнут отечественный вариант oVirt под названием «РЕД Виртуализация» (см. рис. 1).

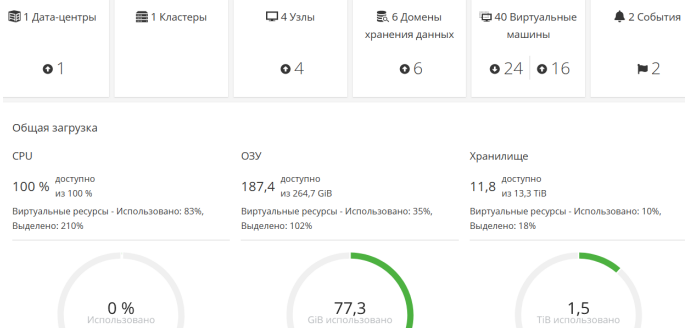


Рис. 1. Веб-консоль администратора дата-центра

Предполагалось, что вышеупомянутые проблемы с резервным копированием и делегированием полномочий будут решены, кроме того, упростится масштабирование инфраструктуры при добавлении новых физических серверов.

ПО РЕД Виртуализация (РВ), как и oVirt не содержит функций создания хранилищ данных, а использует уже существующие SAN или NAS типов: iSCSI, FC, Gluster и NFS. В случае использования блочных хранилищ, РВ создает необходимые тома для виртуальных машин средствами LVM.

Для управления хостами кластера в ходе установки РВ создается отдельная физическая или виртуальная машина, называемая Engine (рис. 2), которая взаимодействует с демоном VDSM (Virtual Desktop and Server Manager) на каждом хосте кластера. Развертывание платформы РВ может быть выполнено в двух вариантах: self-Hosted Engine (HE), когда Engine-машина виртуализируется и работает на одном из хостов и установка Engine на выделенный физический или виртуальный компьютер. Оба варианта имеют свои плюсы и минусы, рекомендуемый – self-Hosted Engine, т.к. управляющая машина будет работать в режиме высокой доступности за счет миграции между хостами кластера.

Обнаружением проблем с Engine занимаются службы HA (high availability) services (см. рис. Рис. 2.) и автоматически поддерживают работу одного Engine в кластере, останавливая, запуская и перемещая Engine по хостам кластера.

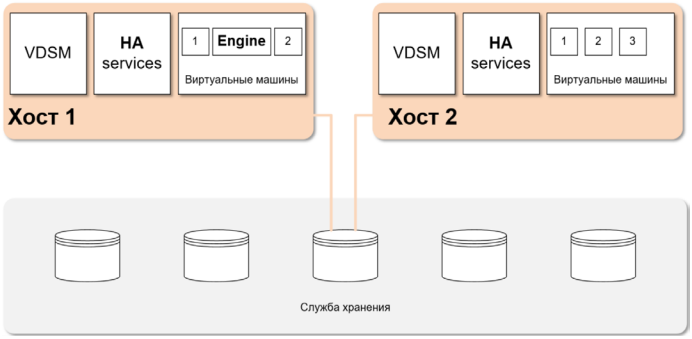
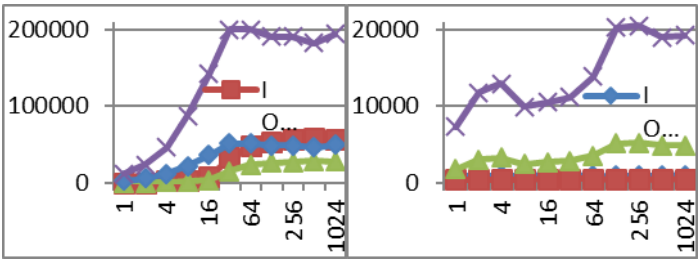


Рис. 2. Архитектура системы виртуализации [2]

Как отмечалось выше, РВ работает с SAN или NAS внешними службами хранения, поэтому отдельная СХД – необходима, что значительно повышает стоимость серверной. Поскольку серверы факультета имели достаточно высокопроизводительные локальные системы хранения, на основе SAS RAID-контроллеров, были созданы iSCSI-таргеты на хостах-участниках кластера. Созданные блочные хранилища показали хорошую производительность, но управление платформой в целом – усложнилось. Например, при выключении кластера по аварии питания, нужно сначала выполнить процедуры завершения/гибернации ОС виртуальных машин, затем, когда хранилища не используются хостами, отключить хранилища от кластера, переводя их в режим обслуживания. Только после этого можно приступать к завершению ОС хостов. Но даже при такой последовательности, ОС виртуальной машины Engine корректно завершить невозможно, т.к. хранилища уже недоступны. Если же завершить ОС Engine до отключения хранилищ, корректно отключить хранилища будет невозможно, т.к. система управления платформы реализована виртуальной машиной Engine. Было сформировано отдельное хранилище специально для Engine, выключение которого во время аварий питания происходит вне платформы и в самый последний момент.

3. Оценка производительности PB

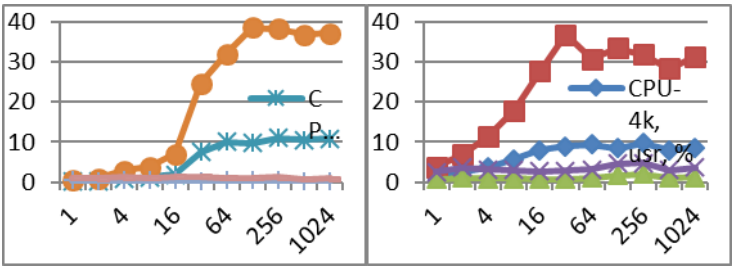
Существует множество метрик для оценки производительности дата-центров. Для нас важными являются те, что связаны с наиболее часто выполняемыми действиями: время миграции, время резервного копирования, пропускная способность виртуальных и физических сетей, Измерения производительности блочных хранилищ iSCSI проводились с помощью программы FIO (Flexible I/O Tester) [3] с размером блока 512 и 4096 байт. Размер блока 4096 байт пока не поддерживается PB. Глубина очереди запросов принимала значения степеней 2 от 1 до 1024. Полученные значения IOPS (кол-во транзакций в секунду), пропускной способности (KiB/s) и загрузки процессора приводятся в виде графиков на рис. 3 и 4, по оси абсцисс – глубина очереди запросов, IO-depth.



а б

а – чтение, б – запись

Рис. 3. Производительность iSCSI-хранилища



а б

а – блок 512b, б – блок 4096 байт

Рис. 4. Загрузка процессора iSCSI-клиента (одного треда)

Оценка производительности виртуальных и физической сетей проводилась с помощью клиент-серверного инструмента iperf3. Полученные данные оказались тривиальными для 10Гб/с Ethernet-сетей, которыми связаны хосты кластера и не представляют интереса.

Оценка миграции ВМ проводилась многократным переносом ВМ БРС (балльно-рейтинговой системы факультета) между хостами кластера. Среднее время миграции – 17.5 секунд, среднее время простоя – 248 миллисекунд. На рис. 5 показаны сообщения журналов с данными о миграции ВМ БРС и загрузка сети во время их переноса.

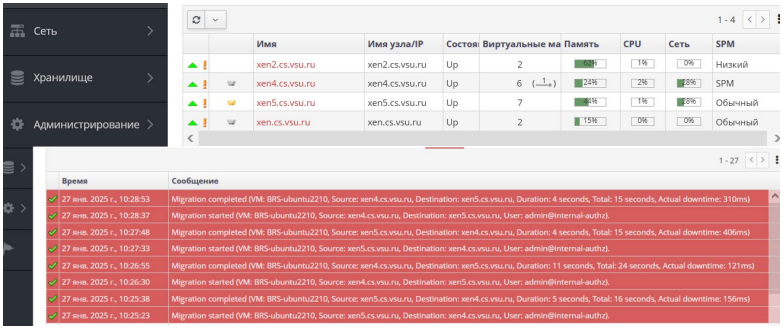


Рис. 5. Миграция в реальном масштабе-времени ВМ БРС

Заключение

В целом, платформа виртуализации «РЕД Виртуализация» оказалась подходящей для управления ИТ-инфраструктурой факультета дальнейшее развитие которой должно быть совместимым со ставшими популярными технологиями контейнеризации и оркестрации, в частности, k8s, OpenShift.

Список литературы

1. Сайт приложения Virtual Machine Manager [Электронный ресурс] : официальный сайт приложения. – Режим доступа : https://virt-manager.org

2. Документация по РЕД Виртуализации [Электронный ресурс] : техническая документация. – Режим доступа : https://redos.red-soft.ru/product/red-virtualizatsiya

3. Flexible I/O tester [Электронный ресурс] : Git-репозиторий. – Режим доступа : https://github.com/axboe/fio

Влияние оптимизации операционной системы на скорость вычислений в математических пакетах на примере openSUSE и Clear Linux

К. О. Петрищев, e-mail: vrn.kostyan.p@mail.ru
А. В. Романов, e-mail: romanov@chem.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Выполнено сравнение скорости математических вычислений на системах с разным уровнем оптимизации. В качестве операционных систем выбраны OpenSUSE Leap 15.6 и Clear Linux. Показано, что скорость расчётов в квантово-химическом пакете GPAW может различаться на порядок.*

Ключевые слова: *Linux, GPAW, Python, математические вычисления, BLAS, Lapack.*

Введение

Специфической особенностью массивных математических вычислений является необходимость глубокой оптимизации программного обеспечения. Стандартный подход в области администрирования вычислительных кластеров и суперкомпьютеров состоит в вынесении математического ПО за пределы операционной системы хоста. Строго говоря, операционная система должна предоставлять только сервисы базового уровня: шифрование, связь между машинами, доступ к данным и т. п. По этой причине прикладное ПО чаще всего формируется на основе отдельных модулей, погружаемых только по необходимости и имеющих минимальное взаимодействие с операционной системой. Другим подходом может быть виртуализация, но она выполняется реже из-за высокой ресурсоёмкости.

Некоторые операционные системы семейства Linux имеют специальные репозитарии, предлагающие автоматическую организацию модульного пространства имен, тем не менее, актуальным остается и самостоятельная сборка из исходных кодов. Последняя, впрочем, становится все более сложной на фоне быстро изменяющихся стандартов, отставания сопровождения программных пакетов и, как следствие, потери обратной совместимости. Серьезное влияние на производительность кодов оказывает общая тенденция к упрощению

© Петрищев К. О., Романов А. В., 2025

разработки и развертывания программного кода с неминуемыми издержками в производительности.

Операционные системы с полной оптимизацией программных пакетов встречаются достаточно редко, как правило, это операционные системы промышленного сектора. Однако, в 2015 году инженеры Intel представили свою версию ОС Linux – Clear Linux [1] собранную и оптимизированную под процессоры архитектуры x86, оптимизация в этом случае коснулась всех системных пакетов. Clear Linux доступна для свободного скачивания и представляет собой удобный полигон для исследований особенностей работы таких продуктов.

В этой работе будет показана важность оптимизации программного обеспечения в случае выполнения математических вычислений силами библиотек, предоставленных разработчиками. В качестве тестовых системы выбраны openSUSE Leap 15.6 [2], в которой оптимизация программных пакетов отсутствует, и Clear Linux в последней редакции. Обе системы установлены непосредственно на жесткий диск. В качестве математического пакета использована связка ASE/GPAW [3] Датского технического университета.

1. Особенности установки операционных систем и развертывание математических пакетов

Clear Linux поставляется в Live-usb образе. Установка на жесткий диск проходит совсем легко, нужно задать лишь часовой пояс, логин, пароль и место установки. В системе доступны библиотеке BLAS и Lapack [4], собранные в единый установочный пакет blis (в операционной системе он разворачивается в стандартные libblas.so и liblapack.so). Из репозитариев доступен openmpi и fftw3 [5] (в том числе параллельная версия). К сожалению, разработчики не предлагают scalapack [6], что может стать препятствием для сборки распространенных математических пакетов. Scalapack является библиотекой с привычно плохим сопровождением. На компиляторе gcc 14 версии, который является стандартным для Clear Linux, собрать его можно лишь дополнительно параметров cmake ключами, которые переводят ошибку не декларированных функций и несоответствия типов языка fortran в разряд предупреждений.

В отличии от Clear Linux openSUSE Leap 15.6 является более зрелым продуктом с долгой историей. Операционная система обладает развитым установщиком, который может вызвать трудности у неискушенного пользователя. Однако, все необходимые пакеты, включая scalapack, здесь доступны в репозитариях.

Что касается пакетов ASE и GPAW, то их можно установить через pip, если установить на систему интерпретатор python с версией 3.9 и

выше (в Clear Linux стандартным является python версии 3.11). Однако, GPAW в этом случае поставляется в уже откомпилированном виде без поддержки fftw3 и scalapack, поэтому пакет был скомпилирован вручную на системных библиотеках.

2. Тестовая система и задачи

Нами были смоделированные задачи с использованием математических пакетов на тестовом компьютере с использованием разных операционных систем. Характеристики тестового компьютера:

- Процессор: Intel core i3-2120;
- Материнская плата: Intel DH67CL;
- Оперативная память: 8Gb;
- Видеокарта: Nvidia Quadro K2000.

1. Continuum Solvent Model (CSM) – это метод, используемый для моделирования влияния растворителя на молекулу (растворенное вещество) в рамках квантово-химических расчетов. В основе модели лежит представление растворителя как непрерывной среды с переменной диэлектрической проницаемостью, которая зависит от положения в пространстве. Модель включает в себя создание "полости" – области, где находится растворенное вещество, и учет электростатических и неэлектростатических взаимодействий между растворенным веществом и растворителем. Электростатические эффекты моделируются путем решения уравнения Пуассона с переменной диэлектрической проницаемостью, а неэлектростатические взаимодействия, такие как энергия образования полости и короткодействующие силы, описываются через параметры, связанные с поверхностью полости. Модель имеет три основных параметра: статическую диэлектрическую проницаемость растворителя, параметр, связанный с объемом полости, и параметр, описывающий поверхностное натяжение. Эти параметры могут быть настроены на основе экспериментальных данных. CSM позволяет эффективно рассчитывать энергию сольватации, что полезно для предсказания термодинамических свойств молекул в растворе. В табл. 1 представлена скорость расчетов континуальной модели сольватации в ОС openSUSE и Clear Linux.

Таблица 1

Время выполнения расчетов континуальной модели сольватации (в секундах) в ОС openSUSE и Clear Linux

	OpenSuSe	Clear Linux
water fd	107.985	98.237

gasphase fd	46.176	31.191
water lcao	58.200	61.997
gasphase laco	9.498	10.578

2. Ab initio Molecular Dynamics (DFT/MD) – это метод, который использует теорию функционала плотности (DFT) для расчета сил, действующих между атомами на каждом шаге по времени. Этот подход позволяет моделировать динамику атомов с высокой точностью, так как электронная структура системы рассчитывается "с нуля" (ab initio) на каждом шаге. Однако из-за высокой вычислительной сложности DFT/MD ограничивается моделированием процессов длительностью в несколько пикосекунд. Этот метод применим к любым системам, которые могут быть описаны с помощью DFT, включая сложные материалы и химические реакции.

В примере рассматривается моделирование прохождения атома водорода через графеновую мишень с использованием DFT/MD. Водородному атому задается начальная скорость, соответствующая кинетической энергии 40 кэВ, и он направляется в центр шестиугольника графена. Для учета эффектов электронного торможения (electronic stopping) требуется использование метода TDDFT/MD (Time-Dependent DFT/MD). В скрипте используется упрощенный набор параметров (например, функционал LDA, крупный шаг сетки и небольшое количество k-точек), чтобы расчет мог быть выполнен на 4-8 ядрах CPU. В табл. 2 представлена скорость расчетов молекулярной динамики в ОС openSUSE и Clear Linux.

Таблица 2

Время выполнения расчетов квантовой молекулярной динамики (в секундах) в ОС openSUSE и Clear Linux

MD lcao	543.825	439.053
MD pw	2295.077	1190.561
MD lcao	543.825	439.053

3. Тест Band Structure (зонная структура) предназначен для расчета и анализа электронной структуры материала, в данном случае – кристаллической решетки серебра (Ag) с гранецентрированной кубической (FCC) структурой. Зонная структура показывает зависимость энергии электронов от волнового вектора (k-вектора) в зоне Бриллюэна, что позволяет понять распределение электронных состояний в материале. В данном тесте используется метод DFT (Density

Functional Theory) для расчета зонной структуры. Особое внимание уделяется корректному описанию d-зон, которые плохо описываются в рамках локального приближения (LDA) из-за недостаточного учета электронных корреляций. После расчета строится график зонной структуры, на котором можно определить положение d-зон относительно уровня Ферми. Для серебра экспериментально известно, что d-зона расположена примерно на 4 эВ ниже уровня Ферми, что позволяет проверить точность расчетов. В табл. 3 представлена скорость расчетов зонной структуры кремния в ОС openSUSE и Clear Linux.

Таблица 3

Время выполнения расчетов зонной структуры кремния (в секундах) в ОС openSUSE и Clear Linux

	OpenSuSe	Clear Linux
BS fd	62.997	46.593
BS lcao	185.051	133.864
BS pw	20.462	22.651

На рис. 1 приведен сводный график для трех тестов скорости вычислений в ОС openSUSE и Clear Linux.

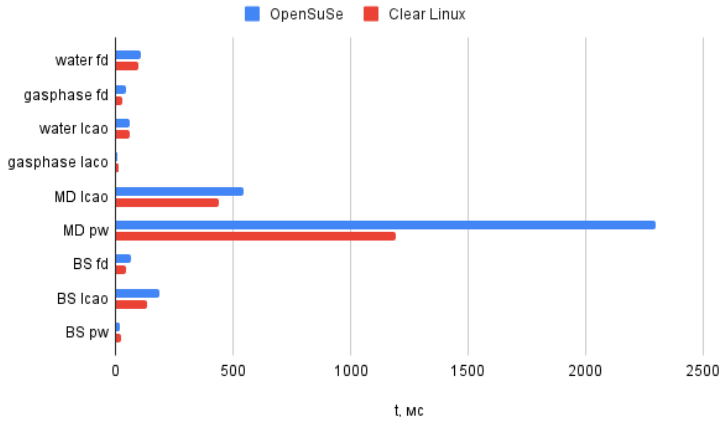


Рис. 1. Сводный график результатов первых 3 тестов

4. Тест Calculating the formation energies of charged defects (расчет энергии образования заряженных дефектов) предназначен для определения энергии, необходимой для создания точечного дефекта в кристаллической решетке, с учетом его зарядового состояния. Этот процесс основан на формуле Чжана-Нортропа, которая учитывает разницу в полной энергии системы с дефектом и без него, а также химические потенциалы атомов и электронов. В рамках теста используется метод DFT (Density Functional Theory) для расчета энергии системы с дефектом и без него в суперячейках. Однако из-за периодических граничных условий возникают медленно сходящиеся электростатические взаимодействия между заряженными дефектами, что требует применения корректирующей схемы Фрейзольдта-Нойгебауэра-Ван де Валля (FNV). Эта схема включает два основных члена: решеточный член (lattice term), который учитывает электростатические взаимодействия между периодически повторяющимися зарядами, и член выравнивания (alignment term), который корректирует электростатический потенциал вдали от дефекта. В примере рассматривается тройной отрицательно заряженный дефект вакансии галлия (Ga) в GaAs, где корректирующая схема FNV применяется для учета электростатических эффектов. Результаты расчетов позволяют определить скорректированную энергию образования дефекта, что важно для понимания влияния дефектов на свойства материалов, таких как полупроводники. На рис. 2 представлены результаты расчетов вакансии в арсениде галлия.

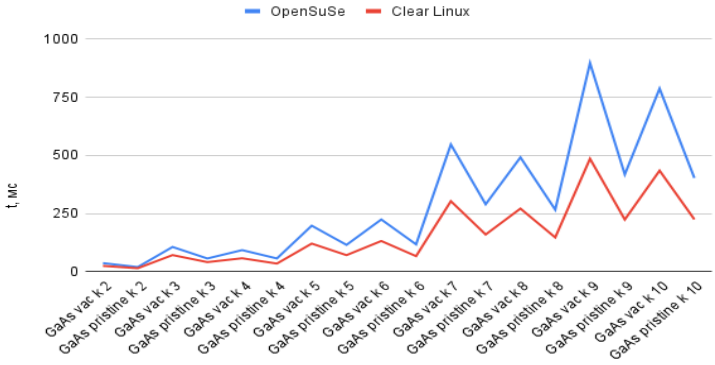


Рис. 2. Время выполнения расчетов арсенида галлия в ОС openSUSE и Clear Linux

5. Тестирование плоских волн и тензора напряжений. Проведен тест на сходимость полной энергии кристалла кремния (Si) с

гранецентрированной кубической решеткой с использованием плосковолнового метода. Проверялась зависимость от энергии отсечки (100-800 эВ).

Сходимость достигнута при 400 эВ с точностью до 5 мэВ. Изменение параметров сетки k-точек и шага решетки влияет на точность и скорость расчетов.

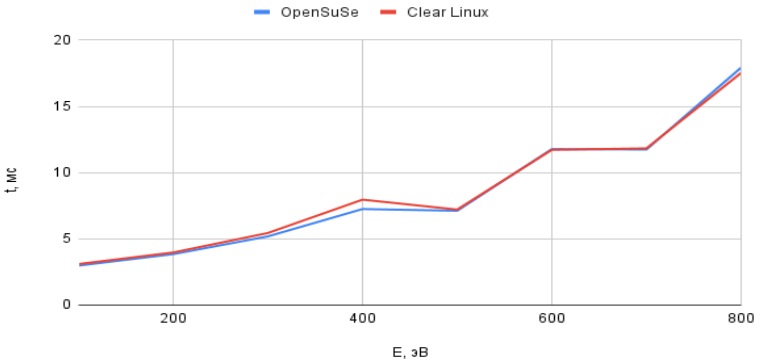


Рис. 3. Время выполнения расчетов кристалла кремния с различной величиной плосковолнового пакета в ОС openSUSE и Clear Linux

Заключение

Проведённое исследование показало, что производительность математических расчетов сильно зависит от степени оптимизации операционной системы. В ходе тестирования Clear Linux продемонстрировала более высокую эффективность по сравнению с OpenSuSe в большинстве сценариев, особенно при расчётах отдельных атомов и небольших ячеек. Это подтверждает заявленную разработчиками оптимизацию системы для процессоров архитектуры x86. Однако, в некоторых тестах разница в скорости оказалась незначительной, что указывает на необходимость более детального анализа влияния различных факторов, включая параметры компиляции и настройки вычислительных пакетов. Дальнейшие исследования могут включать тестирование на других архитектурах и сравнение с альтернативными дистрибутивами, чтобы определить наилучшие условия для проведения вычислений в научных и инженерных задачах.

Список литературы

1. Intel Corporation. Clear Linux OS Documentation. [Электронный ресурс]. URL: https://clearlinux.org/documentation (дата обращения: 2025.01).

2. OpenSUSE Project. OpenSUSE Leap 15.6 Release Notes. [Электронный ресурс]. URL: https://doc.opensuse.org/release-notes/ (дата обращения: 2025.01).

3. GPAW Documentation. GPAW: Grid-based Projector-Augmented Wave Method. [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.fysik.dtu.dk/gpaw/ (дата обращения: 2025.01).

4. BLAS and LAPACK Libraries. Basic Linear Algebra Subprograms and Linear Algebra Package Documentation. [Электронный ресурс]. URL: https://www.netlib.org/blas/ и https://www.netlib.org/lapack/ (дата обращения: 2025.01).

5. FFTW Documentation. Fastest Fourier Transform in the West. [Электронный ресурс]. URL: http://www.fftw.org/ (дата обращения: 2025.01).

6. Scalapack Documentation. Scalable Linear Algebra PACKage. [Электронный ресурс]. URL: https://www.netlib.org/scalapack/ (дата обращения: 2025.01).

Секция 8
САПР и цифровые технологии

Построение типовых элементов в КОМПАС 3д с помощью API

Д.П. Камушкина, email: dasha.kamushkina@mail.ru
В.В. Сокольников, email: svp_kitp@mail.ru

Воронежский государственный технический университет

Аннотация. *Статья посвящена автоматизации проектирования деталей в КОМПАС-3D с помощью API, на примере создания болта. В ней рассматриваются основные шаги, необходимые для успешного моделирования: подключение к API, создание нового документа, определение параметров болта (диаметр, длина, резьба), моделирование 3D-геометрии, применение резьбы и сохранение документа. Здесь описывается использование языков программирования, таких как Pascal и C#, для работы с API, а также приводятся примеры кода для каждой из этапов. Статья будет полезна специалистам и инженерам, стремящимся оптимизировать процесс проектирования и интегрировать его в более сложные CAD-системы, а также всем, кто интересуется возможностями автоматизации в КОМПАС-3D.*

Ключевые слова: *КОМПАС-3D, API, автоматизация проектирования, моделирование, 3D-геометрия, болт, язык программирования, Pascal, C#, документ, параметры детали, диаметр, длина, резьба, цилиндр, сохранение документа, CAD-системы.*

Введение

Одним из передовых инструментов для работы с трехмерной графикой является КОМПАС-3D, который предоставляет богатый функционал для моделирования и создания деталей. Используя API КОМПАС-3D, специалисты могут оптимизировать процесс проектирования, быстрее создавать сложные 3D-геометрические объекты и точно управлять параметрами изделий, такими как диаметр, длина и резьба. Программирование с использованием таких языков, как Pascal и C#, открывает новые возможности для инженеров и проектировщиков, позволяя им автоматизировать рутинные задачи, повышать эффективность работы и минимизировать вероятность ошибок.

© Камушкина Д. П., Сокольников В. В., 2025

1. Обзор API КОМПАС 3д

API (Application Programming Interface) КОМПАС-3D представляет собой мощный инструмент, позволяющий разработчикам и инженерам взаимодействовать с функциями и возможностями системы автоматизированного проектирования. API предоставляет программный доступ к функциям CAD, что позволяет пользователям автоматизировать различные процессы, создавать собственные приложения и расширять функционал системы в соответствии с конкретными потребностями.

API КОМПАС-3D включает в себя множество функций, среди которых можно выделить:

- создание и редактирование 3D-моделей: позволяет создавать детали, выполнять операции над ними, такие как выталкивание, выдавливание, резка и объединение;
- параметрическое моделирование: дает возможность управлять геометрией моделей с помощью параметров, что упрощает внесение изменений и обновление конструкций;
- автоматизация рутинных задач: с API можно автоматизировать процессы, которые обычно требуют много времени, такие как создание документации или изменение свойств деталей;
- интеграция с другими приложениями: API может быть использован для взаимодействия с другими инженерными программами и базами данных, что обеспечивает более слаженное рабочее окружение.

Для работы с API КОМПАС-3D чаще всего используются языки Pascal и C#. Оба языка предлагают широкий набор инструментов для создания скриптов и приложений, которые могут взаимодействовать с CAD-системой. Например, язык Pascal позволяет легко написать программы для автоматизации процессов, а C# предоставляет мощную платформу для создания современных приложений с графическим интерфейсом.

Использование API КОМПАС-3D значительно упрощает проектирование. Например, при проектировании болтов, инженеры могут заранее задавать параметры, такие как диаметр, резьба и длина, что позволяет быстро генерировать необходимые детали без необходимости ручного ввода данных. Это снижает вероятность ошибок и повышает производительность труда.

2. Подключение КОМПАС 3D к API и создание болта на C#

Для написания кода понадобится установленные программы КОМПАС 3D и для C# – Visual Studio, на компьютере.

Для C# (Visual Studio) алгоритм подключения такой:

1. Откройте Visual Studio.
2. Создайте новый проект (например, консольное приложение или приложение WPF).
3. Установите .NET Framework, если это необходимо.
4. Нажмите правой кнопкой мыши на проект в "Обозревателе решений" и выберите "Добавить" → "Ссылка...".
5. Перейдите на вкладку "COM" и найдите "КоМПАС-3D API" в списке доступных объектов. Он может называться "KOMPAS.Application".
6. Добавьте его и нажмите "ОК".

Вот пример кода, который демонстрирует, как подключиться к API КОМПАС-3D и выполнить некоторые базовые операции:

Листинг 1

Подключение к API Компас-3D

```
using System;
using KOMPASLib;

namespace KompasExample
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            // Создаем объект KOMPAS
            var kompas = new KKompasApplication();

            // Запускаем КОМПАС-3D
            kompas.Initialize();

            // Убедимся, что КОМПАС запущен
            if (kompas.IsOpen())
            {
                Console.WriteLine("КОМПАС-3D запущен!");

                // Создаем новый документ
                var document = kompas.getActiveDocument();
                var part = document.NewPart();

                // Устанавливаем параметры болта
                double diameter = 10.0; // Диаметр
                double height = 5.0;   // Высота
                double threadHeight = 20.0; // Высота резьбы
                double threadDiameter = 5; // Диаметр резьбы
                double threadPitch = 1.5; // Шаг резьбы

                // Создаем цилиндрический корпус болта
                var sketch = part.GetSketch();
```

```
                sketch.Circle(0, 0, diameter / 2); // Рисуем
круг для основания

                // Экструдируем основание болта
                part.Extrude(diameter / 2, height);

                // Создаем резьбу
                var threadSketch = part.GetSketch();
                threadSketch.Circle(0, 0, threadDiameter / 2);
// Рисуем круг для резьбы
                part.Extrude(threadDiameter / 2,
threadHeight); // Экструдируем резьбу

                // Теперь добавляем резьбу
                var threadFeature = part.AddThread(0, 0,
threadHeight, threadDiameter, threadPitch);
                if (threadFeature != null)
                {
                    Console.WriteLine("Резьба создана
успешно!");
                }
                else
                {
                    Console.WriteLine("Не удалось создать
резьбу.");
                }

                // Сохранить документ
                var fileName = "Bolt.c3d";
                document.SaveAs(fileName);
                Console.WriteLine($"Документ сохранен как
{fileName}");

                // Закрываем документ
                part.Close();
            }
            else
            {
                Console.WriteLine("Не удалось запустить
КОМПАС-3D.");
            }

            // Высвобождаем ресурсы
            kompas = null;
        }
    }
}
```

Здесь мы вызвали метод GetSketch() для объекта part (часть, которую мы создаем). Этот метод возвращает объект эскиза, который

представляет собой двумерное пространство, где мы можем рисовать фигуры.

Эскиз является важной частью 3D-моделирования, потому что 2D-форма, которую создалт в эскизе, может быть использована для создания 3D-объектов, таких как цилиндры, призмы и т.д.

Также здесь мы использовали метод Circle, чтобы нарисовать круг в эскизе. Параметры метода указали, где будет располагаться круг и каков его радиус:

– 0, 0 – это координаты центра круга в двумерной плоскости (то есть центр круга находится в начале координат).

– diameter / 2 – это радиус круга, который равен половине диаметра болта. Мы использовали диаметр, чтобы получить радиус, так как метод ожидает, что мы укажем радиус, а не диаметр.

Таким образом, эта строка кода рисует круг, который послужил основанием для болта.

Метод Extrude использовали для создания 3D-формы из 2D-эскиза. В данном случае, мы экструзировали уже нарисованный круг, который был создан на этапе предыдущего кода. Экструзия – это процесс, при котором 2D-изображение "выдвигается" в третье измерение, создавая объемный объект:

– diameter / 2: Это значение радиуса круга, который мы экструзировали. В нашем контексте, это половина диаметра, что соответствует радиусу основания болта. Это важно, потому что экструзия основана на форме, которую вы создать в 2D, и радиус указывает, насколько «широким» будет это основание.

– height: Это высота, на которую мы экструзировали круг. Данное значение определяет, насколько «высоким» будет получившийся 3D-объект.

Используем функцию part.AddThread(...), для создания резьбы, где мы задали параметры резьбы, такие как положение, высота, диаметр и шаг.

Таким образом, итогом работы кода является готовая модель болта, которая может быть использована в различных инженерных и проектных приложениях.

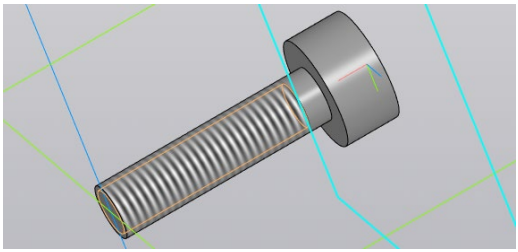


Рисунок. Создание болта с помощью API

3. Подключение КОМПАС 3D к API и создание болта на Pascal

Для написания кода понадобится установленные программы КОМПАС 3D и для Pascal – Delphi, на компьютере.

Подключение можно сделать через Библиотеки COM (Component Object Model), позволяющие взаимодействовать с приложениями через их объекты.

Для Pascal алгоритм подключения такой:

1. Откройте Delphi.
2. Создайте новый проект.
3. Так как Pascal не имеет встроенной поддержки COM, используйте подходящие команды, чтобы создать экземпляр объекта Компас. Например:

Листинг 2

Создание экземпляра объекта Kompas

```
program KompasDemo;
uses
  // Подключили необходимые модули для работы с COM
  // Например, правильно настроенный модуль для работы с COM
var
  Kompas: IKompasObject; // Тип для вашего объекта Компас
begin
  // Создание экземпляра Компас
  Kompas := CreateKompasInstance(); // Замените на фактический
метод создания экземпляра
  // Дальше можно использовать методы API Компас для создания,
редактирования моделей и т.д.
end.
```

Напишем код для создания болта с установленными параметрами:

Листинг 3

Создание болта с установленными параметрами

```
program BoltCreation;

type
  TBolt = record
    Diameter: Real;
    Height: Real;
    ThreadLength: Real;
  end;

procedure CreateBolt(var Bolt: TBolt; Diameter, Height,
ThreadLength: Real);
begin
  Bolt.Diameter := Diameter;
  Bolt.Height := Height;
  Bolt.ThreadLength := ThreadLength;
end;

procedure DisplayBoltInfo(Bolt: TBolt);
begin
  Writeln('Bolt Information:');
  Writeln('Diameter: ', Bolt.Diameter:0:2, ' mm');
  Writeln('Height: ', Bolt.Height:0:2, ' mm');
  Writeln('Thread Length: ', Bolt.ThreadLength:0:2, ' mm');
end;

var
  MyBolt: TBolt;
begin
  CreateBolt(MyBolt, 10.0, 50.0, 30.0); // Пример: диаметр 10
мм, высота 50 мм, длина резьбы 30 мм
  DisplayBoltInfo(MyBolt);
end.
```

Создали новый пользовательский тип TBolt, который представляет собой запись (record). Запись – это структура, которая позволяет объединить разные типы данных. В данном случае TBolt состоит из трех полей:

– Diameter: оно типа Real, предназначено для хранения диаметра болта.

– Height: оно типа Real, служит для хранения высоты болта.

– ThreadLength: также типа Real, используется для хранения длины резьбы болта.

Процедура CreateBolt принимает:

Bolt: передается по ссылке (var), что позволяет функции изменять значение переданного болта.

Diameter, Height, ThreadLength: параметры для инициализации.

Объявление переменной: MyBolt типа TBolt – это установка переменной, которая будет хранить информацию о конкретном болте.

Вызов CreateBolt: здесь мы создали болт с заданными значениями: диаметр 10.0 мм, высота 50.0 мм и длина резьбы 30.0 мм.

Вызов DisplayBoltInfo: вызывает процедуру, которая выводит информацию о созданном болте.

Программа определила структуру для представления болта, создала экземпляр этого болта с заданными параметрами и отобразила его информацию на экране.

Заключение

Создание болта в программе Компас 3D с использованием API открывает широкие возможности для автоматизации проектирования и упрощения рабочих процессов.

Мы рассмотрели основные шаги и методы, позволяющие эффективно использовать API для моделирования деталей, таких как болт. Использование программирования в Компас 3D не только ускоряет процесс разработки, но и позволяет создавать более сложные и точные конструкции.

Разработка с помощью API способствует улучшению качества проектируемых изделий и обеспечивает гибкость в работе.

Список литературы

1. Иванов И.И. Компас 3D. Учебный курс. М.: Издательство "Техносфера", 2020.
2. Петрова А.А. AutoCAD и Компас 3D: сравнительный анализ. СПб.: Издательство "БХВ-Петербург", 2019.
3. Сидоров Н.Н. Использование CAD-систем в инженерии // Журнал автоматизации проектирования. 2022. № 4. С. 45-50.
4. Федоров П.П. Новые методы автоматизации проектирования: дис. ... к. т. н. М.: МГТУ им. Баумана, 2020.
5. Смирнова О.О. Проектирование систем автоматизации. М.: Наука, 2021. 256 с.
6. Ковалев Б.Б. Теория автоматизации и управления. – М.: Высшая школа, 2018. – 420 с.

Преимущества и ограничения автоматизированных систем поддержки принятия решений: сравнение возможностей человека и машин

В. В. Кукушкин, email: slavakukushkinz@gmail.com
А. В. Бредихин, email: maypochta@yandex.ru
К. С. Шевченко, email: shev45nkokirill@yandex.ru

Воронежский Государственный Технический Университет

Аннотация. *В статье рассматриваются возможности автоматизированных систем поддержки принятия решений (АСУПР) в сравнении с человеческим интеллектом. На примере программы* ***Lender****, интегрированной с САПР Компас 3D, проводится анализ их преимуществ и ограничений. Основное внимание уделяется скорости, точности, минимизации ошибок и адаптивности решений. Выделены ситуации, где АСУПР эффективны, и где незаменим человеческий интеллект.*

Ключевые слова: *автоматизация, принятие решений, САПР, Lender, оптимизация.*

Введение

Системы поддержки принятия решений (СППР) становятся важным инструментом оптимизации управления в эпоху цифровых технологий. Они позволяют автоматизировать рутинные процессы, повышать точность расчётов и улучшать производительность в различных отраслях. Одним из примеров таких систем является разработанная нами программа Lender, которая интегрируется с системой автоматизированного проектирования (САПР) Компас 3D. Это приложение предназначено для проектирования упаковочных решений и оптимизации размещения объектов в контейнерах.

Lender использует современные алгоритмы, такие как методы оптимизации и анализа данных, чтобы помочь инженерам и логистам решать задачи быстрее и точнее. Однако, как и другие автоматизированные системы, она имеет ограничения, связанные с адаптацией к нестандартным задачам и зависимостью от качества исходных данных.

Актуальность исследования преимуществ и недостатков автоматизированных систем, таких как Lender, заключается в необходимости поиска баланса между возможностями человеческого

© Кукушкин В. В., Бредихин А. В., Шевченко К. С., 2025

интеллекта и машин. С одной стороны, автоматизация позволяет избежать ошибок, ускорить обработку данных и повысить точность решений. С другой стороны, человек остаётся ключевым звеном в задачах, где требуется творчество и гибкость.

Цель данной статьи – рассмотреть преимущества и ограничения автоматизированных систем поддержки принятия решений на примере программы Lender и сравнить их с возможностями человеческого интеллекта. В статье также приводятся примеры применения автоматизации в таких сферах, как проектирование и логистика.

1. Анализ возможностей автоматизированных систем

Автоматизированные системы поддержки принятия решений (АСППР) представляют собой программные комплексы, которые используют алгоритмы, математические модели и методы анализа данных для ускорения и повышения точности принятия решений. Они находят применение в различных отраслях: от инженерного проектирования до логистики, здравоохранения и финансов. Основная задача таких систем заключается в том, чтобы помочь человеку обрабатывать большие объёмы информации, сводить множество факторов в единое решение и предлагать оптимальный результат.

Ключевой характеристикой СППР является их способность быстро анализировать данные и находить решения, которые человек либо пропустит из-за ограниченности когнитивных ресурсов, либо на которые потратит слишком много времени. Например, в логистике автоматизированные системы позволяют рассчитать оптимальные маршруты доставки или предложить наиболее рациональный способ укладки товаров в контейнер. Такие задачи часто включают большое количество переменных, что делает их трудными для решения вручную.

Однако, несмотря на все преимущества, автоматизированные системы имеют свои ограничения. Одно из них заключается в отсутствии творческого подхода. Алгоритмы опираются на заранее заданные правила и данные. Они не способны вести расчет вне рамок, которые были заложены разработчиками. Например, при проектировании новой упаковки для нестандартного продукта алгоритм может предложить только те решения, которые соответствуют его модели, тогда как человек может придумать совершенно инновационный подход.

Ещё одним ограничением является зависимость от качества исходных данных. Если данные, на которых работает система, не полны или содержат ошибки, то и результат будет некорректным. Это особенно критично в сложных задачах, где точность каждого входного параметра играет ключевую роль. Например, при расчёте размещения грузов в

контейнере отклонение в измерении размеров товаров может привести к тому, что система предложит решение, которое не сможет быть реализовано на практике.

Тем не менее, нельзя отрицать огромные преимущества СППР. Среди них особенно выделяется скорость обработки данных. Задачи, которые занимают часы или дни у человека, система может решить за несколько минут или даже секунд. Кроме того, такие системы минимизируют ошибки, вызванные человеческим фактором, например, невнимательностью или усталостью. В сфере проектирования это может быть особенно полезно при создании чертежей или расчёте сложных структур, где даже небольшая ошибка может привести к серьёзным последствиям.

Одним из примеров успешного применения автоматизированных систем является использование алгоритмов оптимизации в логистике. Генетические алгоритмы, которые имитируют процесс естественного отбора, часто применяются для поиска оптимальных решений в задачах размещения объектов. Эти алгоритмы позволяют находить компромисс между противоречивыми параметрами, такими как минимизация пространства и обеспечение стабильности груза.

2. Возможности человеческого интеллекта

Человеческий интеллект обладает бесценными возможностями, которые недоступны для автоматизированных систем, несмотря на ускоренное развитие искусственного интеллекта и машинного обучения. Одним из ключевых преимуществ человека является способность к творческому мышлению. В отличие от машин, которые превосходно распознают закономерности и делают выводы на основе больших массивов данных, человек обладает способностью к нелинейному мышлению – интуитивным скачкам и генерации оригинальных идей, выходящих за рамки заданных данных. Люди умеют мыслить абстрактно, воспринимая разрозненные фрагменты информации и соединяя их новыми способами.

Ещё одной важной особенностью человеческого интеллекта является эмоциональный интеллект, который позволяет учитывать чувства, мотивацию и поведение других людей. Искусственный интеллект, хотя и способен распознавать закономерности, испытывает трудности с интерпретацией эмоционального контекста и генерацией решений, требующих эмпатии.

Человек также обладает способностью к адаптации в условиях неопределённости. Люди используют опыт, интуицию и творческие способности для поиска решений в новых и неожиданных ситуациях. Напротив, системы искусственного интеллекта часто являются

узкоспециализированными и предназначены для работы в рамках определённого набора параметров. Когда такие системы сталкиваются с задачей, выходящей за пределы их программы или обучения, они могут не справиться с адекватным реагированием.

Таким образом, несмотря на впечатляющие возможности автоматизированных систем, человеческий интеллект остаётся критически важным в ситуациях, требующих творческого подхода, эмоционального понимания и адаптивности. Взаимодействие между человеком и машиной, основанное на взаимодополняемости их сильных сторон, открывает новые горизонты для повышения эффективности и качества принимаемых решений.

3. Сравнение эффективности человека и машин

Сравнение возможностей автоматизированных систем и человеческого интеллекта показывает, что каждая из сторон имеет свои сильные и слабые стороны. Автоматизированные системы, такие как Lender, интегрированные с Компас 3D, демонстрируют высокую производительность и точность в задачах, связанных с обработкой данных и выполнением рутинных процессов. Они идеально подходят для задач, где требуется анализ больших объёмов данных и расчёт оптимальных решений.

С другой стороны, человек остаётся незаменимым в задачах, где требуется креативность, гибкость и способность учитывать контекст. В проектировании нестандартных продуктов или в ситуациях, требующих учёта эмоциональных факторов, человеческий интеллект превосходит автоматизированные системы.

Например, в логистике Lender успешно рассчитывает оптимальное размещение товаров в контейнере, минимизируя пустоты и снижая затраты. Однако если требуется учесть дополнительные ограничения, такие как уникальные требования клиента или необходимость создания эстетически привлекательной упаковки, вмешательство человека становится необходимым.

Таким образом, наилучшие результаты достигаются при совместной работе человека и автоматизированных систем. Машины берут на себя рутинные задачи и расчёты, освобождая человека для творчества и стратегического мышления.

4. Преимущества и ограничения автоматизированных систем

Автоматизированные системы поддержки принятия решений обладают рядом преимуществ, которые делают их важной частью цифровых технологий. Они обеспечивают высокую скорость обработки данных, минимизируют ошибки, позволяют выполнять задачи с высокой

точностью и интегрируются с современными инструментами, такими как САПР. Программа Lender является примером успешной автоматизации проектных процессов, позволяя компаниям экономить ресурсы и улучшать качество продукции.

Однако существуют и ограничения. Основной проблемой остаётся отсутствие творческого подхода и ограниченная способность к адаптации. Системы работают строго в рамках заложенных алгоритмов и зависят от качества данных. Высокие затраты на внедрение и обучение персонала также могут стать барьером для использования автоматизации, особенно для небольших предприятий.

Несмотря на эти ограничения, автоматизированные системы продолжают развиваться, расширяя свои возможности и снижая затраты на реализацию. Их сочетание с человеческим интеллектом открывает новые горизонты для проектирования, управления и оптимизации процессов.

Заключение

Оценив преимущества и недостатки автоматизированных систем поддержки принятия решений (АСППР) при использовании программы Lender совместно с Kompas 3D, а также сравнив их с возможностями человеческого интеллекта, можно сделать следующие выводы. Автоматизированные системы демонстрируют скорость и точность обработки данных, что позволяет им решать задачи для стандартных задач в рамках САПР. Однако их функционал ограничен заданными алгоритмами, что сказывается на их эффективности при постановке творческих задач.

Человеческий интеллект, напротив, обладает такими выдающимися способностями, как творческое мышление, интуиция и способность адаптироваться к изменяющимся условиям. Однако реализация трудоемких и многозадачных процессов требует больших временных затрат, что делает автоматизацию незаменимой.

Таким образом, сочетание автоматических систем и человеческого интеллекта является наиболее эффективным подходом к решению сложных задач в области САПР. Автоматизация позволяет избегать ошибок и ускорять реализацию стандартных процессов, участие человека обеспечивает гибкость и креативность в проектировании.

Хотя настройка и использование автоматизированных систем требуют дополнительных факторов, таких как обучение и внедрение персонала, используются более точные, быстрые и удобные решения. Данное исследование способствует дальнейшему развитию АСППР, направленному на повышение их адаптивности и

конкурентоспособности, что открывает новые возможности в цифровом проектировании.

Список литературы

1. Смирнов, А. В. Поддержка принятия решений на основе человеко-машинного коллективного интеллекта: современное состояние и концептуальная модель / А. В. Смирнов, Т. В. Левашова, А. В. Пономарев // Информационно-управляющие системы. – 2020. – №2. – С. 60–70.

2. КОРУС Консалтинг. Системы поддержки принятия решений: всё про СППР, Decision Support Systems, DSS // КОРУС Консалтинг. – 2024. – 9 октября.

3. Смирнов, А. В. Онтология паттернов человеко-машинного сотрудничества для поддержки принятия решений / А. В. Смирнов, Т. В. Левашова // Труды СПИИРАН. – 2024. – Т. 3, №53. – С. 421–439.

4. Смирнов, А. В. Паттерны человеко-машинного сотрудничества для поддержки принятия решений / А. В. Смирнов, Т. В. Левашова // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2024. – №3. – С. 45–56.

5. Смирнов, А. В. Нейро-символический интеллект в коллаборативных человеко-машинных системах поддержки принятия решений / А. В. Смирнов, А. В. Пономарев, Н. Г. Шилов, Т. В. Левашова // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2024. – №4. – С. 34-47.

6. Голомазов, В. В. Построение концепции информационной поддержки принятия решений на основе мультиагентных систем / В. В. Голомазов, А. В. Смирнов, В. В. Иосифов // Труды МАИ. – 2024. – Т. 102. – С. 56–67.

Применение САПР для автоматизированного проектирования и стандартизации документации

Д. А. Мизерий, email: mizerydima@yandex.ru
А. А. Алексашин, email: aleksahin.ar@gmail.com
В. В. Сокольников, email: svp_kitp@mail.ru

Воронежский Государственный Технический Университет

Аннотация. *Статья посвящена исследованию подходов к оптимизации логистических процессов с использованием современных цифровых технологий. В работе рассматривается применение системы автоматизированного проектирования Kompas 3D в интеграции с САПР Lender для автоматизации расчётов, создания проектной документации и планирования логистических операций. Приведён анализ основных проблем, возникающих при ручном проектировании, и предложены решения, которые обеспечивают снижение временных затрат, повышение точности и стандартизацию документации. На основе реальных примеров продемонстрирована эффективность интеграции данных систем и её влияние на сокращение ошибок в проектировании и ускорение выполнения задач. Также выделены перспективы дальнейшего развития решений на базе автоматизации, включая внедрение облачных технологий и аналитики больших данных.*

Ключевые слова: *САПР, Kompas 3D, Lender, автоматизация логистики, цифровизация, стандартизация документации.*

Введение

В настоящее время, успех компании на рынке сильно зависит от оптимизации рабочих процессов. Логистика – один из важнейших аспектов в предоставлении продукции потребителю, который можно значительно оптимизировать. Цифровизация и автоматизация процессов позволяет уменьшить затраты и ускорить выполнение работ, что, в последствии, увеличивает прибыль компании и делает её более конкурентоспособной. В данной работе будет рассмотрен пример оптимизации процесса составления документов и планирования логистических операций с помощью системы автоматизированного проектирования Kompas 3D и интеграции её с САПР Lender.

© Мизерий Д. А., Алексашин А. А., Сокольников В. В., 2025

1. Проблемы традиционного проектирования упаковки

Традиционные методы проектирования упаковки зачастую требуют значительных временных ресурсов. Процесс начинается с анализа требований к упаковке, ручного расчёта её параметров и заканчивается созданием документации, включая чертежи и спецификации. Большая часть этих операций выполняется вручную, что приводит к увеличению времени на каждую итерацию работы.

При изменении условий, таких как обновление размеров продукции или корректировка логистических требований, процесс приходится начинать с нуля. Каждый этап требует ручного ввода данных и проверки их корректности, что замедляет разработку. Особенно остро проблема проявляется в условиях массового производства, где нужно оперативно адаптировать упаковочные решения к большому количеству изделий с различными характеристиками.

При ручной обработке данных вероятность ошибок возрастает многократно. Это могут быть неточности при вводе параметров, пропуск важных деталей или неверные расчёты. Такие ошибки не только увеличивают затраты на повторное проектирование, но и могут привести к серьёзным последствиям:

– несоответствие размеров упаковки продукции;

– повреждение товаров из-за неправильного выбора материалов или конфигурации;

– нарушение сроков поставок из-за необходимости исправления ошибок в проектной документации.

Кроме того, сложность проверки и валидации данных вручную увеличивает риск выпуска некорректной упаковки, что влияет на репутацию компании и лояльность клиентов.

Ещё одной проблемой традиционного подхода является отсутствие интеграции между системами и унифицированных стандартов в проектировании упаковки. Данные о продукции, логистических требованиях и упаковочных материалах часто хранятся разрозненно. Это приводит к необходимости повторного ввода данных в различные системы, что увеличивает вероятность расхождений и дублирования.

Кроме того, отсутствие стандартизации в подготовке чертежей и документации усложняет взаимодействие между подразделениями и снижает производительность. Например, разные сотрудники могут использовать различные форматы или методики расчёта, что делает процесс несогласованным и затрудняет проверку итоговых документов.

2. Описание системы САПР Lender

Была разработана система автоматизированного проектирования Lender. Она является удобным механизмом, используемым для

управления упаковочными процессами и алгоритмами проектирования. Также она обеспечивает создание документации и управление производственными данными, применяемыми в логистических системах, требующих высокой точности и стандартизации. Система также позволяет использовать данные из других информационных источников, таких как базы данных или сторонних приложений. Это способствует созданию единого цифрового пространства для работы над проектами. Используя современные технологии, Lender отвечает требованиям цифровизации и способствует улучшению ключевых бизнес-процессов.

Трёхмерное моделирование является одной из важнейших функций САПР. Она позволяет визуализировать процесс укладки продуктов в упаковочное пространство. Данная функция даёт возможность пользователям проектировать оптимальные возможности укладки, анализировать использованное пространства и предлагает решения, направленные на минимизацию издержек. 3D-визуализация даёт вариант заранее выявить потенциальные проблемы, связанные с габаритами продуктов, соответствием размеров упаковки и возможностью её дальнейшей транспортировки. Помимо того, моделирование в 3D позволяет не только проектировать новые упаковочные решения, но и анализировать текущие схемы, предлагая варианты их оптимизации.

Ещё одной важной функцией системы является автоматизированное создание стандартной документации. САПР Lender предоставляет возможность формировать различные варианты документов, включая упаковочные чертежи, спецификации и таблицы маркировки. Процесс генерации документации в Lender не требует значительных временных затрат, поскольку система использует встроенные алгоритмы для автоматической компоновки данных. В результате пользователи получают документы, соответствующие стандартам, без необходимости ручной корректировки. Это снижает вероятность ошибок и обеспечивает единообразие документов на всех этапах проектирования.

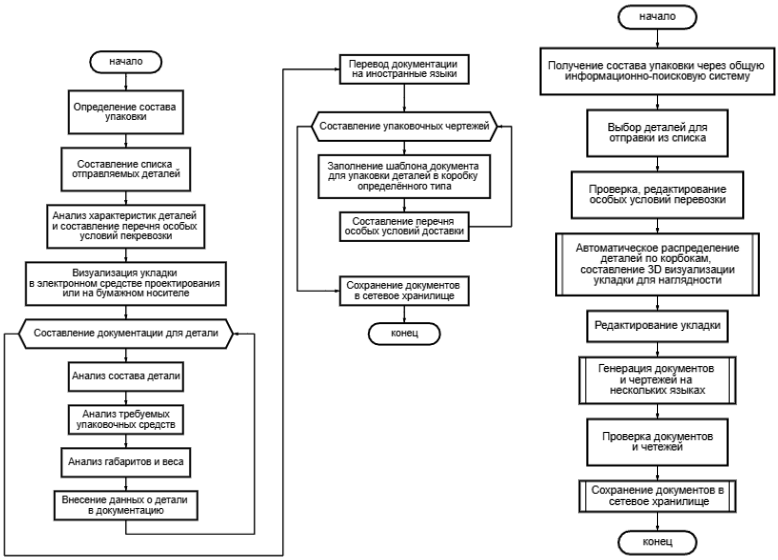
Интеграция с внешними системами позволяет ускорить процессы принятия решений за счёт своевременного доступа к актуальной информации. Например, пользователи могут быстро импортировать данные о продукции, её габаритах или весе, а также экспортировать готовую документацию в другие системы. Такая функциональность обеспечивает гибкость работы и лёгкость адаптации системы под текущие потребности производства.

Автоматизация процессов с использованием САПР Lender открывает перед предприятиями новые возможности для оптимизации их деятельности. Преимущество в сокращение времени на выполнение задач позволяет автоматизировать рутинные процессы, такие как расчёт упаковочных решений или создание документации. Это даёт возможность оперативно реагировать на изменения требований заказчиков или производственных условий. Встроенные алгоритмы системы исключают ошибки, характерные для ручной обработки данных, за счёт автоматической проверки параметров и унификации данных. Это особенно важно при работе с крупными проектами или большими объёмами данных. Система формирует документацию, соответствующую требованиям стандартов, что обеспечивает единообразие и качество проектной информации. Это способствует повышению доверия со стороны клиентов и партнёров. Снижение трудозатрат, связанных с проектированием и подготовкой документации, позволяет перераспределить ресурсы на выполнение более сложных задач. Это увеличивает общую производительность команды. Благодаря возможностям интеграции и обновления данных в режиме реального времени, система легко адаптируется под изменения производственных условий. Это делает её эффективным инструментом для работы в динамичной бизнес-среде. Использование САПР Lender позволяет предприятиям оптимизировать их рабочие процессы, минимизировать издержки и повысить конкурентоспособность на рынке. Система предоставляет комплексное решение, способное удовлетворить запросы современного производства, ориентированного на цифровизацию и автоматизацию.

3. Решение проблемы с использованием САПР

Для устранения проблем, связанных с традиционными методами проектирования упаковки, была разработана система автоматизированного проектирования (САПР) Lender в интеграции с KOMPAS 3D. Этот подход позволяет автоматизировать ключевые этапы проектирования и создать единое информационное пространство, где данные о составе упаковки, особенностях перевозки и параметрах укладки обрабатываются быстрее и с минимальным риском ошибок.

Рассмотрим, как использование системы изменяет процесс проектирования, опираясь на две блок-схемы, изображённые на рисунке: первая отражает традиционный подход, вторая – процесс с автоматизацией.



а б

а – без системы автоматизации, б – с системой автоматизации

Рисунок. Сравнение этапов формирования документации с системой автоматизации и без неё

Традиционный процесс проектирования упаковки, представленный на первой блок-схеме, характеризуется высокой степенью участия человека на каждом этапе. Всё начинается с определения состава упаковки, что требует сбора данных о деталях, подлежащих транспортировке, и их характеристиках. Далее составляется список отправляемых деталей и анализируются особые условия перевозки, например, необходимость защиты от влаги, ударов или высоких температур. Этот этап выполняется вручную, что уже создаёт предпосылки для возникновения ошибок.

Следующим шагом является визуализация укладки. Традиционно этот процесс осуществляется с помощью бумажных схем или примитивных графических инструментов, не интегрированных с другими системами. Такая визуализация, хотя и выполняет свои задачи, зачастую оказывается недостаточно точной и требует значительных временных затрат. Параллельно с этим начинается подготовка документации. Процесс составления чертежей и спецификаций

включает ручной ввод данных о размерах, весе, габаритах и особенностях деталей. На этом этапе сотрудники анализируют состав деталей, подбирают подходящие упаковочные средства, заполняют шаблоны документов и создают чертежи упаковки. Вся эта работа требует значительного времени и зачастую приводит к ошибкам из-за человеческого фактора.

Процесс завершается переводом документации на иностранные языки и её сохранением в сетевых хранилищах. Это финальный этап, где ручное вмешательство также может стать причиной несогласованности данных, особенно если изменения вносятся уже после завершения основного проектирования.

Ситуация кардинально меняется при использовании автоматизированного подхода, реализованного с помощью САПР Lender. На второй блок-схеме представлен процесс, где все основные этапы выполняются при минимальном участии человека. Проектирование начинается с получения данных через общую информационно-поисковую систему, которая автоматически формирует состав упаковки на основе имеющейся базы данных. Это позволяет исключить необходимость ручного поиска информации и значительно ускорить процесс.

Далее пользователь выбирает детали из сформированного списка, после чего система проверяет и редактирует данные об особых условиях перевозки. Например, если какие-либо детали требуют дополнительных защитных мер, система автоматически включает их в спецификацию. Следующим этапом является автоматическое распределение деталей по коробкам. Система Lender использует алгоритмы оптимизации, чтобы предложить наиболее эффективное размещение, обеспечив минимальный объём и надёжную фиксацию деталей. Результат сразу отображается в виде 3D-модели укладки, что даёт возможность визуально оценить и при необходимости скорректировать предложенное решение.

Генерация документации выполняется автоматически. Система создаёт упаковочные и габаритные чертежи, ведомости, бирки и спецификации на нескольких языках. Этот процесс занимает считанные минуты и полностью исключает ошибки, которые могли бы возникнуть при ручной обработке данных. Финальный этап – это проверка и сохранение готовых документов в сетевом хранилище, что обеспечивает удобный доступ и согласованность данных.

Использование автоматизированного подхода на базе Lender в интеграции с KOMPAS 3D решает основные проблемы, присущие традиционным методам. Автоматизация не только позволяет сократить

время на выполнение задач, но и исключает ошибки, связанные с человеческим фактором. Более того, стандартизация документации и интеграция с другими системами обеспечивают повышение эффективности взаимодействия между подразделениями. Преимущества такого подхода проявляются особенно ярко в условиях масштабного производства, где требуется быстрая адаптация к изменениям и высокая точность проектных решений.

Таким образом, внедрение САПР Lender в процесс проектирования упаковки открывает новые возможности для повышения эффективности и конкурентоспособности компаний. Автоматизация ключевых этапов работы позволяет сосредоточиться на стратегических задачах, исключая рутину и минимизируя ошибки.

Заключение

Автоматизация и цифровизация проектных процессов являются ключевыми инструментами для повышения эффективности современных предприятий. В рамках работы был рассмотрен традиционный подход к проектированию упаковки и выявлены его основные проблемы, такие как высокая трудоёмкость, риск ошибок и отсутствие стандартизации. Для их решения предложено использование системы Lender в интеграции с Kompas 3D.

Внедрение автоматизированного подхода позволило сократить временные затраты, минимизировать ошибки и обеспечить стандартизацию документации. Интеграция с другими системами создала единое информационное пространство, что упрощает работу и делает процессы более прозрачными.

Автоматизация проектирования упаковки на базе Lender не только демонстрирует свою эффективность, но и открывает перспективы для дальнейшего развития, включая использование облачных технологий и больших данных. Это подтверждает, что современные системы автоматизированного проектирования становятся важным инструментом для повышения конкурентоспособности компаний.

Список литературы

1. Карпенко, А. П. Основы автоматизированного проектирования: учебник / А. П. Карпенко. – М. : ИНФРА-М, 2025. – 329 с.

2. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: учебник / И. П. Норенков. – 4-е изд. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 616 с.

3. Суворов, А. П. Применение САПР Autodesk Fusion 360 в промышленном дизайне: лабораторный практикум / А. П. Суворов. – СПб. : Лань, 2024. – 180 с.

4. Кузьмик, П. К. САПР. Системы автоматизированного проектирования: учебное пособие для вузов / П. К. Кузьмик ; под ред. И. П. Норенкова. – М. : Машиностроение, 1986. – 256 с.

5. Малюх, В. Введение в современные САПР: курс лекций / В. Малюх. – М. : ДМК Пресс, 2014. – 200 с.

6. БИМ Портал. Системы автоматизированного проектирования (САПР): структура, возможности, сферы промышленного применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://bim-portal.ru

7. Кадмастер. Стандартизация при работе в САПР: зачем она нужна и как ее контролировать? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.cadmaster.ru

Разработка приложения просмотра и редактирования конструктивной электронной структуры изделия в формате STEP-JSON

Д. И. Миркутов, email: mirkutov.deniz@yandex.ru[1]
С. А. Ремнева, email: sonechka68zvr@gmail.com[2]
В. В. Надеждин, email: stran.rus228@yandex.ru[1]

[1]Воронежский государственный технический университет

Аннотация. *В данной статье рассматривается приложение для работы с данными в формате STEP-JSON, обеспечивающее импорт, экспорт, проверку и редактирование данных, что позволяет улучшить процесс обмена информацией между организациями и информационными системами. Используемый обменный файл соответствует стандарту ГОСТ Р 2.525-20XX, устанавливающему требования к модели и формату данных конструктивной электронной структуры изделия.*

Ключевые слова: *PLM, ГОСТ Р 2.525-20XX, STEP-JSON, конструктивная электронная структура изделия, приложение для работы с данными, стандарты конструкторской документации.*

Введение

В данной статье рассматривается стандарт ГОСТ Р 2.525-20XX, который устанавливает требования к модели и формату данных конструктивной электронной структуры изделия при передаче между организациями и информационными системами [1].

Современные условия требуют высокой степени интеграции и совместимости данных между различными информационными системами и организациями. Это особенно важно в области машиностроения, где конструкторская документация играет ключевую роль в процессе разработки и производства изделий. Стандарт ГОСТ Р 2.525-20XX был разработан для решения этих задач, обеспечивая единообразие и точность данных при их передаче.

Обмен данными между системами позволяет улучшить координацию между различными участниками проекта, такими как конструкторы, инженеры, производители и поставщики. Это способствует снижению затрат на переработку данных, уменьшению количества ошибок и повышению качества конечного продукта. Введение стандарта ГОСТ Р 2.525-20XX позволяет установить чёткие правила и форматы для представления данных, что делает процесс обмена информацией более эффективным и надёжным.

В данной статье также описывается разработка приложения для работы с данными в формате STEP-JSON, соответствующего данному стандарту. Это приложение обеспечивает удобный интерфейс для импорта, экспорта, проверки и редактирования данных, что позволяет пользователям легко работать с конструктивной электронной структурой изделия в соответствии с требованиями стандарта.

Разрабатываемое приложение представляет собой автоматизированное решение для работы с данными в формате STEP-JSON, соответствующего стандарту ГОСТ Р 2.525-20XX. Основная цель разработки данного приложения заключается в создании графического интерфейса, который позволит пользователям удобно просматривать и редактировать обменные файлы.

1. Обзор стандарта ГОСТ Р 5.525-20XX

ГОСТ Р 2.525-20XX является национальным стандартом Российской Федерации, который устанавливает требования к модели и формату данных содержательной части конструктивной электронной структуры изделия при её передаче между организациями и информационными системами [2]. Этот стандарт является частью Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и применяется для изделий машиностроения.

Основное назначение стандарта ГОСТ Р 2.525-20XX заключается в обеспечении единообразия и совместимости данных при передаче конструктивной электронной структуры изделия между различными организациями и информационными системами. Это позволяет упростить процесс обмена информацией, повысить качество конструкторской документации и снизить затраты на переработку данных.

Модель данных: стандарт описывает модель данных, которая включает объекты и атрибуты для описания изделия, его составных частей, версий, связей между изделиями, допустимых замен, материалов и ролей организаций.

Форматы данных: данные могут быть представлены в нескольких форматах, включая STEP-JSON, STEP и XML. Выбор конкретного формата устанавливается по соглашению между передающей и принимающей сторонами.

Совместимость: стандарт обеспечивает совместимость с другими стандартами ЕСКД и международными стандартами, такими как ISO 10303.

Стандарт ГОСТ Р 2.525-20XX распространяется на изделия машиностроения и применяется по согласованию сторон. Он может быть использован для описания различных видов изделий, включая

сборочные единицы, комплексы, комплекты, детали, стандартные изделия, покупные изделия, материалы и программные изделия.

Идентификация изделия: стандарт предусматривает идентификацию изделия, его составных частей и материалов с использованием специальных объектов и атрибутов.

Версии изделия: для каждого изделия могут быть определены различные версии, которые описываются с использованием специализированных объектов.

Связи между изделиями: стандарт позволяет устанавливать связи между изделиями, версиями изделий и описаниями изделий в конкретном контексте.

Допустимые замены: стандарт предусматривает возможность описания допустимых замен составных частей в составе изделия.

Материалы и заготовки: стандарт описывает требования к материалам и заготовкам, из которых изготавливаются изделия.

Роли организаций: стандарт позволяет указывать роли организаций по отношению к изделию, такие как разработчик, изготовитель, поставщик и держатель подлинников документации.

2. Требования к обменному файлу

Формирование обменного файла будет осуществляться на основе конструктивных данных в системе управления жизненным циклом изделия (PLM). Файл может быть получен непосредственным экспортом в соответствующий формат, если PLM система поддерживает описанный стандарт. Также можно использовать сторонние коннекторы, которые через API PLM будут забирать необходимые данные и преобразовывать их в обменный формат. Ещё одним способом получения исходного файла является конвертация файла электронной структуры изделия из основного формата системы управления жизненным циклом.

1. Общая информация о JSON

Файл в формате JSON представляет собой текстовый файл, который содержит набор объектов JSON, встраивающих элементы модели данных, соответствующие стандарту «GOST R 2.525».

2. Структура корневого объекта

При представлении электронной структуры изделия (ЭСК) в формате STEP-JSON корневой объект описывает общие данные и включает в себя следующие ключевые атрибуты:

format – идентификатор версии формата, который в соответствии с данным стандартом равен «STEP-JSON 1.0»;

schema – идентификатор схемы данных, установленный как «GOST R 2.525–202X»;

instances – массив объектов JSON, содержащий описания экземпляров объектов, соответствующих указанной схеме.

Разработчики информационных систем могут дополнительно включать в корневой объект необязательные атрибуты, такие как «description», «author», «organization», «originating_system» и прочие. Обобщённая структура данных в обменном файле формата STEP-JSON представлена ниже:

```
{
 "format": "STEP-JSON 1.0",
 "schema": "GOST R 2.525",
 "instances": [
  {
   "id": "#N",
   "type": "OBJ_NAME",
   "attributes": {
    "attribute_name1": "VALUE",
    "attribute_name2": "VALUE",
    ...
    "attribute_namem": "VALUE"
   }
  },
  {
   "id": "#N+1",
   "type": "OBJ_NAME",
   "attributes": { ... }
  },
  { ... }
 ]
}
```

3. Описание экземпляров объектов

После общей информации корневой объект включает массив объектов JSON, содержащих данные ЭСК. Каждый экземпляр объекта из модели данных «GOST R 2.525» описывается в массиве как отдельный объект JSON, обладающий следующими атрибутами:

id – уникальный идентификатор (#N) объекта в рамках файла, предназначенный для создания ссылок на данный объект; формат идентификатора установлен в ГОСТ Р ИСО 10303–21 и включает символ «#» и целочисленный номер (например, «#345»);

type – строка (OBJ_NAME), указывающая наименование объекта из схемы данных «GOST R 2.525» (например, «product», «document» и др.); для комплексных объектов значение должно состоять из нескольких

имён, соединённых символом «+» (например, «next_assembly_usage_occurrence + quantified_assembly_component_usage»);

attributes – объект JSON, содержащий значения атрибутов объекта в соответствии с моделью данных «GOST R 2.525». Имена атрибутов указываются в формате «ATTRIBUTE_NAMEn», а их значения – в формате «VALUE».

Значения атрибутов различных типов задаются следующим образом:

STRING – представлен как строка;

INTEGER – представлен как целое число;

REAL – представлен как вещественное число;

LOGICAL – представлен в формате, установленном в ГОСТ Р ИСО 10303–21: «.F.» для FALSE, «.T.» для TRUE и «.U.» для UNKNOWN;

Ссылка на другой объект – представлена как строка с идентификатором экземпляра объекта (атрибут «id»);

ENUMERATION – представлен в формате, установленном в ГОСТ Р ИСО 10303–21: символы приведены к верхнему регистру с точками в начале и конце (например, «.MADE.», «.BOUGHT.», «.NOT_KNOWN.», «.ASSEMBLY.», «.PART.», «.MATERIAL.», «.KIT.», «.COMPLEX.»).

Представление даты и времени в виде текстовой последовательности должно соответствовать требованиям к передаче полного обозначения даты и времени согласно ГОСТ Р 7.0.64-2018. По соглашению участников информационного обмена дата и время могут быть представлены с использованием часового пояса в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.64 (YYYYMMDDhhmmssZ, YYYYMMDDhhmmss±hhmm, YYYYMMDDThhmmss±hh).

3. Требования к приложению

Разрабатываемое программное обеспечение должно соответствовать минимальным основным требованиям, перечисленным ниже:

– Обеспечение возможности чтения данных из файлов STEP-JSON;

– Поддержка сохранения данных в формате STEP-JSON с корректной структурой;

– Проверка корректности структуры данных на соответствие стандарту ГОСТ Р 2.525 – 20XX;

– Формирование и отображение уведомлений о найденных ошибках или несоответствиях;

– Интуитивно понятный интерфейс;

– Просмотр загруженных данных в текстовом виде;

– Построение графических схем электронной структуры изделия;
– Возможность редактирования атрибутов объектов;
– Поддержка версионности рабочего файла с возможностью переключения между версиями структуры;
– Поддержка функций для добавления новых объектов, удаления существующих и поиска объектов;
– Доступность на различных операционных системах (Windows, macOS, Linux);
– Наличие встроенную документацию, описывающую функционал и инструкции по работе с приложением.

4. Схема интерфейса приложения

В качестве прототипа была сделана схема интерфейса приложения, на которой изображены основные кнопки навигации, блок просмотра загруженных файлов для быстрого переключения, окно предпросмотра с выбором режима отображения выбранного файла, возможность переключения между просмотром и редактированием, строка быстрого поиска в файле, кнопка сохранения и индикатор ошибок с их расшифровкой (рис. 1).

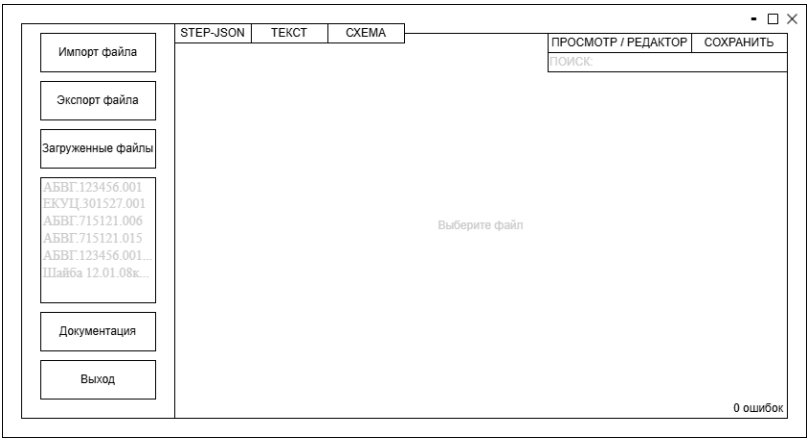


Рис. 1. Схема интерфейса приложения

5. Функциональная модель

Функциональная модель отображает путь исходного файла через приложение, действия, которые совершает программа, и что видит пользователь (рис. 2).

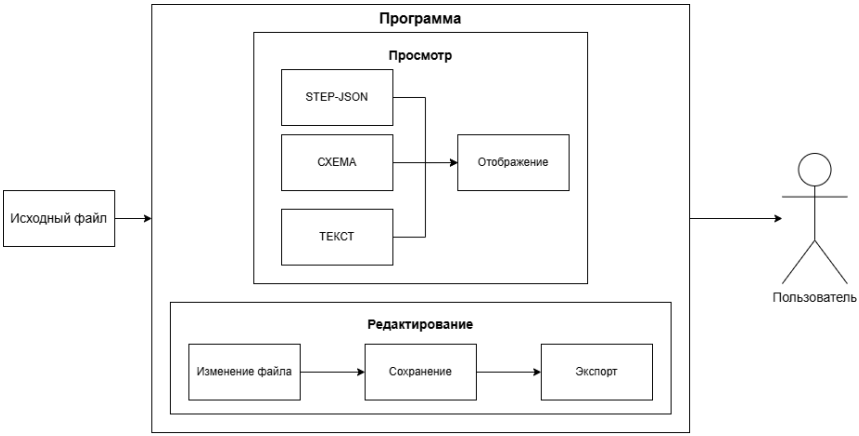


Рис. 2. Функциональная модель

Заключение

В данной статье был рассмотрен стандарт ГОСТ Р 2.525-20XX, который устанавливает требования к модели и формату данных конструктивной электронной структуры изделия при передаче между организациями и информационными системами.

Основное внимание было уделено разработке приложения для работы с данными в формате STEP-JSON, соответствующего требованиям стандарта ГОСТ Р 2.525-20XX. Приложение обеспечивает импорт, экспорт, проверку и редактирование данных, что делает процесс обмена информацией более эффективным и надёжным. Разработанное приложение включает интуитивно понятный интерфейс, который позволяет пользователям удобно просматривать и редактировать обменные файлы.

Функциональная модель и схема интерфейса приложения демонстрируют, как исходный файл проходит через программу, какие действия совершает программа и что видит пользователь. Приложение поддерживает работу на различных операционных системах и содержит встроенную документацию, что делает его удобным для использования в различных организациях.

Введение стандарта ГОСТ Р 2.525-20XX и разработка соответствующего приложения для работы с данными в формате STEP-JSON являются важными шагами на пути к улучшению процессов обмена информацией в машиностроении и других отраслях промышленности.

Список литературы

1. ГОСТ Р 2.525-20XX. СИБИД. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу [Электронный ресурс] : национальный стандарт / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: https://www.gostinfo.ru (дата обращения: 13.01.2025).

2. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия конструктивная. Формат данных [Текст] : ГОСТ Р 2.525-20XX. – Изд. окончательная редакция 2.

3. Багаутдинов, А. Ч. Исследование систем и стандартов CALS и PLM технологий / А. Ч. Багаутдинов, О. В. Борисова // Открытия в науке: исследования и применение : Сборник материалов VI-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 15 апреля 2024 года. – Москва, 2024. – С. 24-26. – EDN EMHSHR.

4. Стандартизация поддержки жизненного цикла изделий в цифровой экономике / А. Н. Петров, Е. В. Судов, А. В. Иванов, Е. Ю. Ушаков // Стандарты и качество. – 2024. – № 12. – С. 22-27. – DOI 10.35400/0038-9692-2024-12-205-24. – EDN JDOKYF.

Применение современных нейросетей для генерации 3D моделей в САПР Компас 3D

В. А. Суедов, email: suedov2015@gmail.com
В. В. Сокольников, email: svp_kitp@mail.ru

Воронежский государственный технический университет

Аннотация. *В работе исследуются современные нейросетевые технологии для генерации 3D моделей и их интеграция с САПР Компас-3D. Анализируются возможности и ограничения решений, таких как CAD with AI, TRELLIS и AI CAD Generator. Результаты подтверждают потенциал ИИ в автоматизации проектирования и выявляют необходимость улучшения совместимости форматов и алгоритмов.*

Ключевые слова: *Компас 3D, 3D, нейросети, автоматизированное проектирование.*

Введение

В современном мире технологии искусственного интеллекта (ИИ) стремительно развиваются, находя применение в самых различных сферах, включая промышленность, медицину, дизайн и автоматизированное проектирование. Одним из наиболее перспективных направлений является использование нейросетей для генерации трехмерных (3D) объектов, что открывает новые горизонты для проектирования и прототипирования. Системы автоматизированного проектирования (САПР) играют ключевую роль в процессе разработки инженерных и дизайнерских решений. Однако традиционные методы проектирования часто требуют значительных временных и трудозатрат. Интеграция нейросетевых технологий в САПР позволяет не только ускорить процесс проектирования, но и значительно расширить его возможности. Целью данного исследования является изучение современных нейросетевых технологий, способных генерировать 3D объекты, а также анализ их взаимодействия с САПР, в частности с Компас-3D. Основное внимание уделяется выявлению возможностей, преимуществ и ограничений таких решений. В рамках данного отчета будут рассмотрены актуальные технологии генерации 3D объектов, их интеграция в САПР, а также проведен анализ возможных применений в реальных проектах.

© Суедов В. А., Сокольников В. В., 2025

Примеры нейросетей и их взаимодействие с Компас-3D

1. CAD with AI

Описание: CAD with AI – сервис для генерации 3D-моделей для использования в системах автоматизированного проектирования (САПР). Нейросеть создает объекты из простого текстового запроса. Доступна система координат и настройка размеров модели с повторной генерацией. Экспорт результатов доступен только в формате .stl.

Особенности:

– создание моделей. CAD with AI сократит время разработки трехмерных моделей для задач проектирования. Используйте текстовое описание объекта на английском языке для генерации 3D-модели. Для ознакомления с возможностями AI-инструмента на сайте сервиса присутствуют несколько примеров запросов. Нажатие на иконку в правом верхнем углу окна предпросмотра модели вызывает систему координат, которую разрешается перемещать;
– настройка размеров. После завершения генерации CAD-модели доступны размеры всех элементов. Все размеры можно изменять и запросить создание объекта с новыми параметрами;
– экспорт. Результаты работы нейросети можно загрузить в формате STL для дальнейшего использования в специализированном программном обеспечении.

Пример использования представлен на рис. 1.

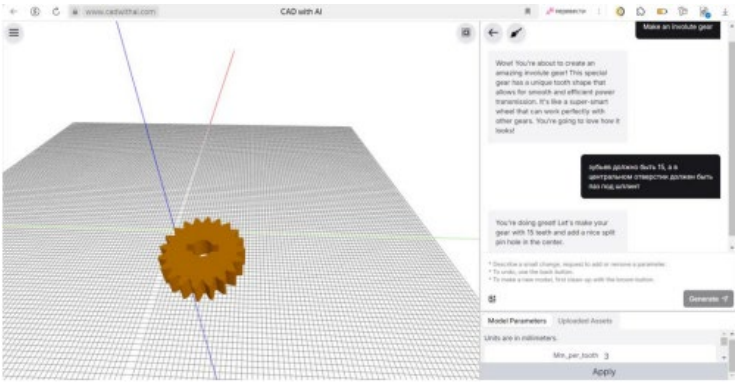


Рис. 1. Использование CAD with AI для создания 3D объекта

Из этого примера мы видим, что данная модель способна понимать русский язык. Также с помощью этой модели мы можем не просто создавать объекты, но и редактировать их, с помощью последующих запросов.

Импортирование созданных объектов: в данной модели создание файлов с объектом является платным, в связи с этим мы не можем проверить возможность открытия данных объектов в САПР Компас 3D, так-как для оплаты необходима карта с иностранной валютой (рис. 2).

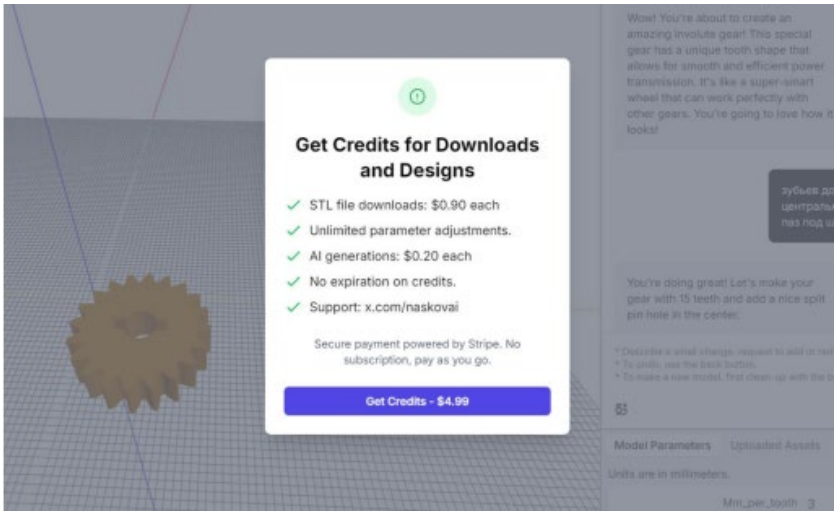


Рис. 2. Оплата подписки на сервис

2. TRELLIS

Описание: TRELLIS – нейросеть для генерации 3D-объектов от компании Microsoft. Модели доступны для загрузки на странице проекта в GitHub. Нейросеть создает 3D-объекты на основе текстового описания или картинки. Доступна генерация различных вариантов объекта. Доступен экспорт результата в формате GLB.

Особенности:

– генерация 3D. Нейросеть генерирует 3D-модели из текстовых подсказок или изображений. TRELLIS поддерживает экспорт объектов в формате GLB, что позволяет использовать их в популярных редакторах, например, Blender. На момент выпуска доступна модель для конвертации изображений в 3D с 1.2 млрд параметров. Вскоре станут доступны модели с 342 млн, 1.1 млрд и 2 млрд параметров;

– редактирование. TRELLIS позволяет легко редактировать созданные 3D-объекты, например, генерировать варианты одного и того же объекта или локально редактировать;
– качество. Нейросеть обучена на наборе данных из 500 тысяч 3Dобъектов. TRELLIS создает объекты высокого качества со сложными деталями формы и текстуры.

Пример использования представлен на рис. 3.

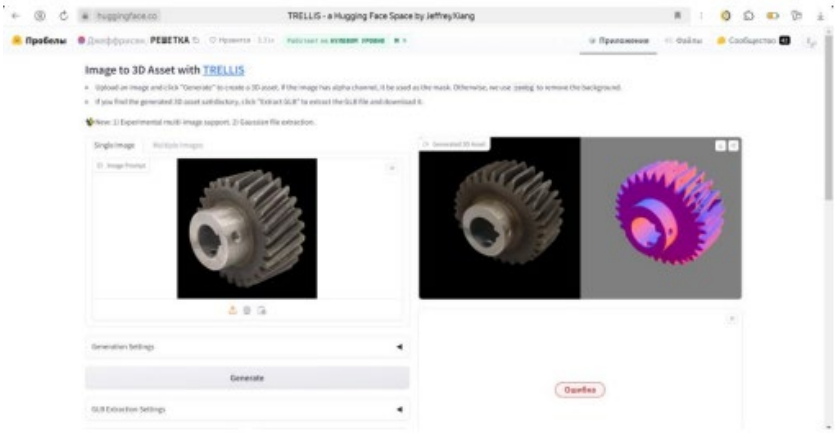


Рис. 3. Пример преобразования фото в 3D модель

На данном рисунке мы видим, что преобразование произошло со многими ошибками и артефактами, что не позволит нам легко взаимодействовать с данным объектом. Также импортировать созданный объект возможно только в формате GLB, а Компас 3D данный формат не поддерживает, что не позволяет нам продолжить работу с данным объектом.

3. AI CAD Generator

Описание: AI CAD Generator – нейросеть для создания 3D-объектов для систем автоматизированного проектирования. Сервис предназначен для ускорения процесса разработки трёхмерных моделей, которые в дальнейшем будут импортированы в выбранное CAD-приложение. Доступен экспорт в различных форматах и API с подробной документацией.

Особенности:

– генерация CAD-моделей. AI CAD Generator использует алгоритмы машинного обучения для анализа огромного массива

данных и создания моделей, готовых к использованию в приложениях для проектирования. После получения результата модель можно вращать и приближать прямо в браузере, чтобы оценить качество генерации. В ближайшее время разработчики обещают добавить возможность обучения нейросети на своих данных для получения наиболее релевантных результатов;

– простота использования. Интерфейс AI CAD Generator предоставляет удобный способ взаимодействия с системой, позволяя пользователям создавать сложные механические модели, просто используя текстовые описания. Для использования инструмента не потребуется никаких навыков проектирования;
– возможности экспорта. После генерации модели доступен экспорт в следующих формате: FBX, OBJ, GLB, GLTF, PLY, STL и STEP. Используйте полученные файлы для своих проектов.

Пример работы представлен на рис. 4.



Рис. 4. Пример создания сложной детали

Из рисунка выше мы видим, что данная модель прекрасно взаимодействует с русским языком и при правильном запросе способна создать модель, полностью соответствующую описанию.

Импортирование созданных объектов: данная нейросеть позволяет скачивать модель в таких форматах, как FBX, OBJ, GLB, GLTF, PLY, STL и STEP. А Компас 3D способен взаимодействовать с форматами: STL, STEP и OBJ. Поэтому мы будем использовать только эти форматы, для проверки взаимодействия с компасом.

Проверка работы с форматом STL представлена на рис. 5.

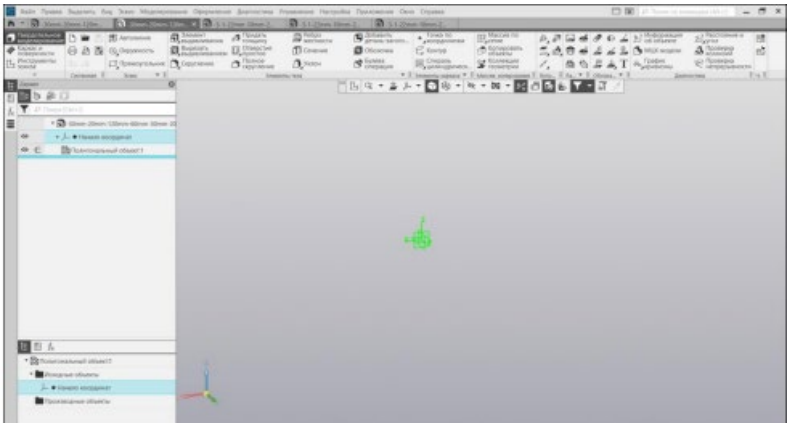


Рис. 5. Открытый stl файл в компас 3D

На данном рисунке мы видим, что хоть файл и открылся, и присутствует полигональный объект, мы видим, что в дереве этого объекта есть только начало координат, что свидетельствует о том, что документ был сохранен неправильно.

Проверка работы с форматом OBJ представлена на рис. 6.

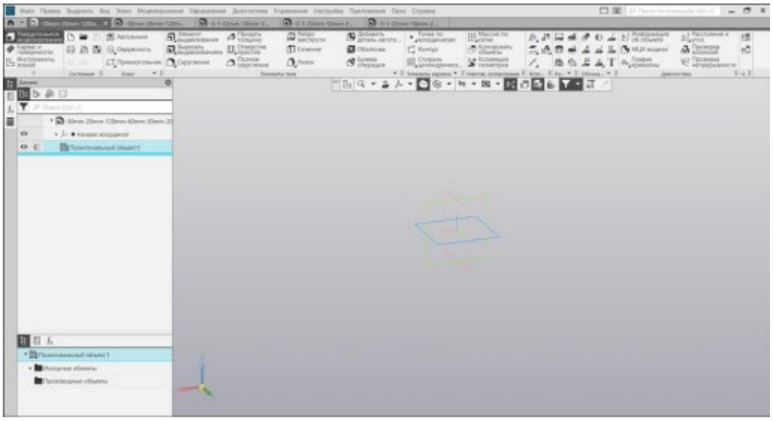


Рис. 6. Открытый obj файл в компас 3D

На данном рисунке мы видим полностью аналогичную предыдущему примеру ситуацию.

Проверка работы с форматом STEP представлена на рис. 7.

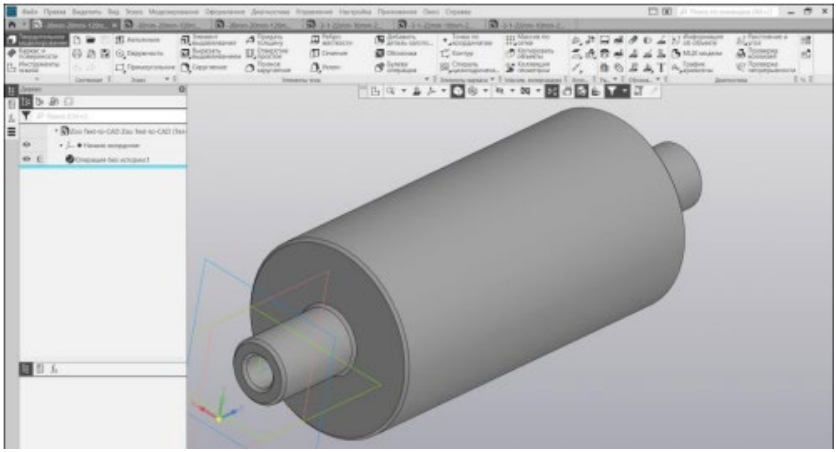


Рис. 7. Открытый step файл в компас 3D

На данном рисунке мы видим, что объект открылся правильно, что полностью развязывает нам руки для дальнейшей работы с существующей заготовкой. Единственным минусом является то, что у нас нету истории создания детали. Что в свою очередь усложняет работу с данной моделью, а также делает непростой переход к производству, с помощью данной 3D модели.

Заключение

Данное исследование продемонстрировало потенциал нейросетевых технологий в генерации 3D объектов и их интеграции с системами автоматизированного проектирования.

Основные выводы:

- генеративные модели, обладают высоким потенциалом для автоматизации проектирования;
- интеграция с САПР, например Компас-3D, требует доработок в части совместимости форматов и алгоритмов;
- перспективы развития включают использование ИИ для полной автоматизации этапов проектирования и улучшение пользовательского опыта. Рекомендуется продолжить исследования в области повышения точности моделей и упрощения процессов интеграции с САПР.

Список литературы

1. Воронцов, К. В. Машинное обучение и интеллектуальный анализ данных: учеб. пособие / К. В. Воронцов. – М.: МФТИ, 2020. – 414 с.

2. Goodfellow, I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge: MIT Press, 2016. – 775 p.

3. Data-Driven Design in CAD Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448520301704

4. Леков, Л. М. Искусственный интеллект и системы автоматизированного проектирования: учеб. пособие / Л. М. Леков. – М.: Инфра-М, 2018. – 328 с.

5. Генеративные нейросети и их применение в проектировании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/441768/

Разработка кроссплатформенных модулей прототипа САПР

А. Н. Юров, email: yurovalex@mail.ru
В. В. Ветохин, email: daiolix@yandex.ru
М. И. Чижов, email: mihailc@list.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Аннотация. Разработан модуль учебного прототипа САПР по отображению поверхностей средствами геометрического ядра Open Cascade, может быть использован в инженерных системах, где требуется создание аналитически-заданной формы поверхности для твердотельных моделей цифровых двойников промышленных изделий.*

Ключевые слова: *Ключевые слова: модуль подсистемы, визуализация модели, геометрические ядра, моделирование поверхностей.*

Введение

Создание специализированного программного обеспечения для предприятий машиностроительной отрасли представляет собой сложный процесс, особенно если возникает необходимость обходиться без использования готовых математических моделей и проектных решений, связанных с автоматизацией, моделированием и решением производственных задач.

Существенно упростить разработку помогают готовые инженерные системы, предоставляющие функционал, адаптированный под специфику предприятия. Например, для анализа формы поверхности изделия, от которой могут зависеть эксплуатационные характеристики, требуется выполнить математические расчёты. Если в используемой САПР системе уже доступны необходимые функции и расчётные модули, затраты на разработку значительно сокращаются, исключается необходимость в реализации типовых алгоритмов, инструментов визуализации и других базовых компонентов.

Однако такой подход имеет свои недостатки. Готовые САПР системы с собственными программными интерфейсами накладывают ограничения: все созданные модули и компоненты имеют сильные привязки с целевой системой проектирования и зависят от конкретной платформы, работающей под заданную операционную систему. При переходе на другую систему может потребоваться полная переработка

© © Юров А. Н., Ветохин В. В., Чижов М.И., 2025

решений, так как API новой платформы будет отличаться. Кроме того, интерфейсы программирования в устаревших САПР могут быть ограниченными, что затрудняет реализацию новых функциональных возможностей в программном модуле.

Альтернативным решением является использование геометрических ядер, таких как Open Cascade, которые предоставляют возможности для создания независимых приложений. Указанное ядро подходит для решения задач разного уровня сложности – от моделирования и математических расчётов до разработки специализированных прикладных библиотек для производственных нужд. Одной из задач, которая имеет ценность при проектировании цифровых двойников изделий, является получение набора форм поверхностей для изделия. Свободные и аналитически-рассчитанные формы поверхностей помогает не только создать эстетически привлекательный дизайн, но и оптимизировать эксплуатационные характеристики изделия, что критично для работы механизмов и агрегатов в машиностроении.

1. Разработка моделей

Для разработки потребуются материалы, обеспечивающие создание как элементов графического интерфейса, так и наборы методов геометрического ядра Open Cascade.

Структура приложения предполагает использование инструментальных панелей, готовых диалоговых окон, разработку собственных интерфейсов для ввода данных. Исходной информацией может быть набор ключевых точек, которые будут заданы пользователем, либо загруженные в систему как готовые модели в экспортном формате. В процессе работы над проектом могут возникнуть и дополнительные вопросы для решения задач по моделированию поверхностей. Выходной информацией будет создание и визуализация поверхностных форм в окне рендеринга модуля.

Для проекта необходимо реализовать достаточное количество интерфейсных окон для задания исходных данных. На текущем этапе работ планируется использовать динамические контейнеры для хранения координат ключевых точек. Работа с контейнерами будет вестись и в методах моделирования геометрического ядра, поэтому требуется изначально вести разработку алгоритмов с максимальной оптимизацией в разработке.

Кроме того, в проект требуется внести решения, которые позволяют обеспечить проверку достоверности данных при выполнении тех или иных методов, чтобы обеспечить стабильность в работе модуля.

Общий вид структуры модуля построения поверхностей представлен на рис. 1.

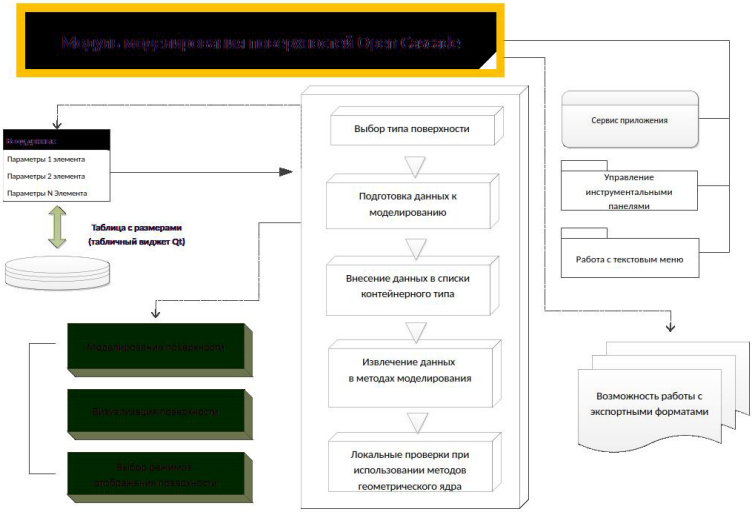


Рис. 1. Структура модуля построения поверхностей

2. Алгоритмы визуализации и построения объектов

Алгоритм для визуализации данных, если параметры представлены готовыми объектами для отображения, может быть следующим: выполняется проверка условия, имеются ли объекты для отображения в некотором контейнере (можно использовать динамические массивы, контейнерные типы данных, коллекции и т. д.). Если данных нет, операция по визуализации не выполняется. При наличии данных объекты последовательно перебираются, и текущий отображается на сцене. Все объекты, которые отображены на экране, могут быть масштабированы в размер экрана. Рассмотренный алгоритм для отображения полученных объектов (поверхностей) показан на рис. 2.

Построение поверхностей можно описать общим алгоритмом без предварительной подготовки входящих данных. Для моделирования необходимо иметь базовый массив контрольных точек. Из точек получить набор кривых. Кривые перевести в контурные сетки или же поверхностные формы. Формы преобразовать до объектов визуализации. В конце необходимо вызвать алгоритм по визуализации

объектов на сцене приложения. На рис. 3 приведена схема рассмотренного алгоритма по моделированию поверхностей.

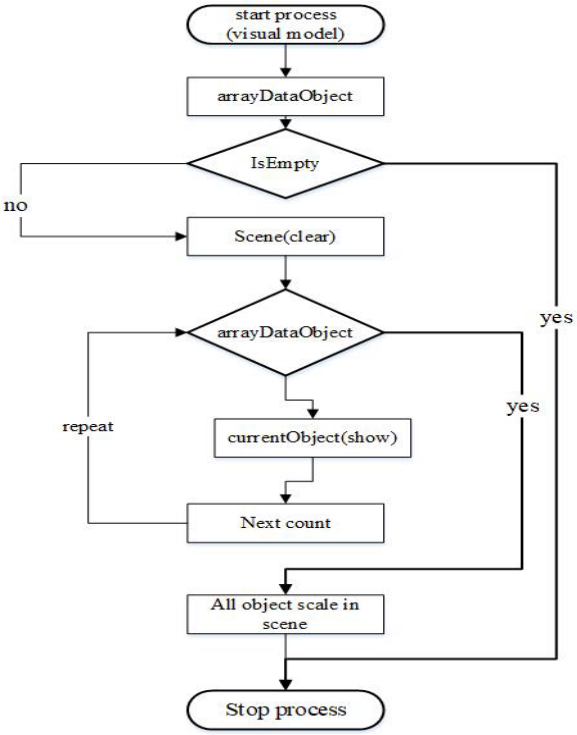


Рис. 2. Алгоритм визуализации объектов (поверхностей)

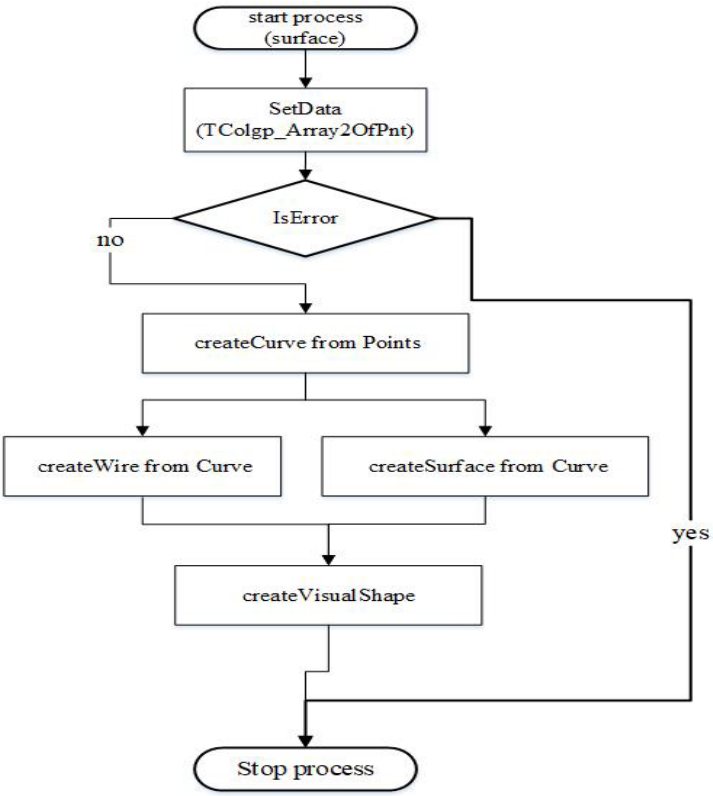


Рис. 3. Алгоритм моделирования поверхностей

3. Реализация кроссплатформенного модуля

Реализация модуля была подготовлена для группы операционных систем: ОС Windows 10, Linux Manjaro и macOS Sequoia. При запуске на ОС Windows экране появится главная форма приложения. Верхняя часть формы приложения предоставляет доступ к опциям по загрузке и записи результатов моделирования поверхностей. Кроме того, наверху размещены элементы управления построениями: объекты можно вращать, перемещать, масштабировать, показывать результаты в каркасном и твердотельном виде, а также в режиме триангуляции. В верхней инструментальной панели есть кнопки по изменению цвета поверхности и информация об авторе. Боковая панель слева отвечает за типы поверхностей, которые доступны в модуле. Информацию о том, что можно смоделировать, можно узнать из справки (всплывающая

подсказка). Далее, через информационный диалог, производятся настройки для построения, после чего выполняется процесс моделирования с визуализацией объектов (рис. 4).

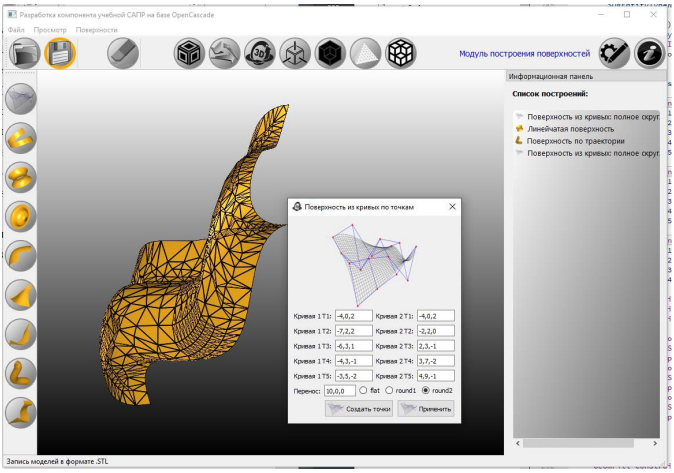


Рис. 4. Моделирование поверхностей (OS Windows 10)

В работе на macOS Sequoia представлен программный интерфейс модуля по моделированию поверхностей. Результат представлен на рис. 5. Аналогичная программная реализация модуля была выполнена для операционной системы Linux (рис. 6).

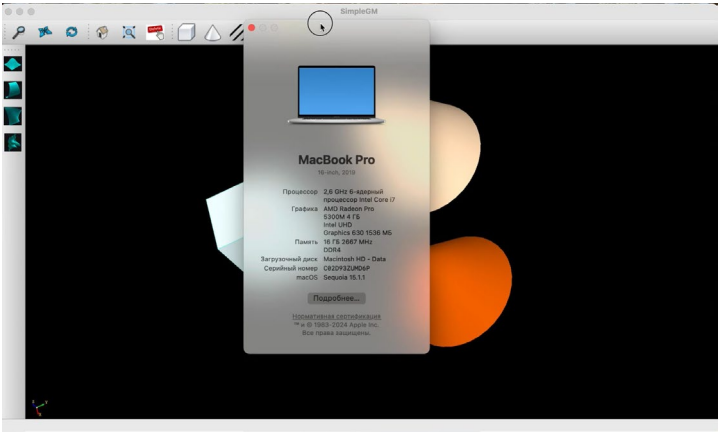


Рис. 5. Моделирование поверхностей (macOS Sequoia)

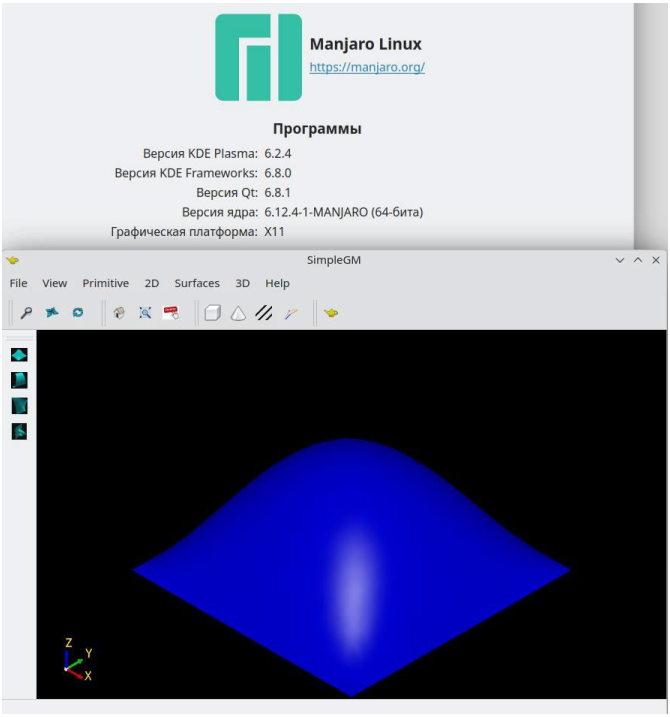


Рис. 6. Моделирование поверхностей (Linux Manjar)

Заключение

В ходе работы был разработан программный модуль, позволяющий выполнить проектные задачи по моделированию различных форм поверхностей средствами геометрического ядра Open Cascade. Поверхностные формы могут быть заданы с использованием ручного и автоматического режима ввода данных, получены по сетке кривых, по траектории, согласно предопределенным сценариям построения и иными способами построения.

Список литературы

1. Liu, H.; Wu, Z.; Yuan, S.; Wang, Y.; Dong, L. Design and Implementation of a Three-Dimensional CAD Graphics Support Platform for Pumps Based on Open CASCADE. Processes 2023, 11, 2315. https://doi.org/10.3390/pr11082315

2. Quick segmentation for complex curved surface with local geometric feature based on IGES and Open CASCADE / F. Wang, J. Ma, Q.

Xu, Z. Jia, Y. Yang // Advances in Engineering Software. – 2015. – V. 87. Pp. 86-96. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.advengsoft. 2015.04.010.

3. CurSur – 3D Curves and Surfaces in Geometric Design, in WebGL [Электронный ресурс] / S. Amarnath : Code Project, 2023. – Режим доступа : https://www.codeproject.com/Articles/5295155/CurSur-3D-Curves-and-Surfaces-in-Geometric-Design

Секция 9
Инфокоммуникационные системы, системы телекоммуникаций, радиоэлектроника, обработка сигналов

Электродинамическая модель дисковой антенны при несимметричном расположении на плоском прямоугольном экране

А. В. Богословский, email: bogosandrej@yandex.ru
А. В. Евсеев, email: alsealek@mail.ru
С. Н. Разиньков, email: razinkovsergey@rambler.ru
А. В. Савченко, email: nomenate1@gmail.com

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *Представлены основные положения для построения электродинамической модели дисковой антенны на плоском экране с покрытием из диэлектрического материала. Отмечены особенности задания вариаций поверхностных токов антенны при излучении и приеме сигналов, а также ее несимметричном размещении на экране прямоугольной формы. Исследованы закономерности трансформации диаграммы направленности антенны при изменении местоположения на несущей поверхности с различными линейными размерами при переменных значениях диэлектрической проницаемости и толщины слоя покрытия.*

Ключевые слова: *дисковая антенна, диэлектрическое покрытие, несущая поверхность, электродинамическая модель, вариации токов, диаграмма направленности.*

Введение

Дисковые антенны, обладающие планарными формами приемно-излучающих элементов, встраиваемыми в корпуса носителей, находят широкое применение в мобильных радиоэлектронных комплексах [1]. При их размещении на несущих поверхностях существенным образом не изменяются показатели вторичного электромагнитного излучения [2], а также характеристики устойчивости и управляемости объектов [3].

Вместе с тем, значительный объем аппаратуры, входящей в состав комплекса, обусловливает дефицит позиций для размещения антенн без искажений функций пространственно-частотной избирательности [1, 4] передачи-приема сигналов. Вследствие дифракции электромагнитного поля на стыковых соединениях и кромках, являющихся источниками интенсивного рассеяния, направленные свойства антенн, размещенных

© Богословский А. В., Евсеев А. В., Разиньков С. Н., Савченко А. В., 2025

вблизи краев несущих поверхностей и в секторах углов, экранируемых элементами конструкций носителей, могут претерпевать существенную трансформацию. Изменения показателей избирательности передачи-приема сигналов проявляются в форме повышения боковых лепестков диаграмм направленности и потерь коэффициентов усиления антенн.

Для установления характеристик приемно-передающих структур в составе радиоэлектронных комплексов, их взаимосвязей с параметрами конструкций требуется разработка моделей антенн на экранах, формы и размеры которых могут использоваться для представления фрагментов несущих поверхностей. Результаты моделирования составляют основу для решения задачи синтеза – восстановления параметров конструкций антенн с требуемыми характеристиками [5].

В предлагаемой работе представлена электродинамическая модель дисковой антенны при несимметричном расположении на плоском экране с диэлектрическим покрытием.

Цель работы – исследование особенностей построения модели и установление закономерностей формирования поверхностных токов антенны при различном удалении от кромок несущей поверхности.

1. Основные положения построения электродинамической модели дисковой антенны на поверхности с диэлектрическим покрытием

Исходя из типовых вариантов конструкций дисковых антенн [6] для мобильных радиоэлектронных комплексов, при построении модели по аналогии с [1, 7] примем следующие ограничения и допущения:

– антенна выполнена в виде идеально проводящего бесконечно тонкого диска резонансных размеров (относительно длины излучаемой или принимаемой волны);

– плоский экран имеет прямоугольную форму с различными в общем случае длинами сторон, каждая из которых, превосходя габариты диска, также принадлежит резонансной области;

– диэлектрический материал с магнитной проницаемостью, равной единице, и диэлектрической проницаемостью, характеризуемой только положительно определенной вещественной частью, полностью покрывает несущую поверхность слоем, толщина которого значительно меньше радиуса диска;

– смещение диска, задаваемое по различию координат его центра и точки пересечения диагоналей несущего экрана, может выполняться относительно каждой из сторон совместно или отдельно;

– ввиду асимметричного расположения диска на несущем экране, распределение первичных поверхностных токов содержит радиальную и азимутальную составляющие с вариациями по окружности (кромке).

В соответствии с предложенным в [1] подходом, построение модели дисковой антенны на экране в режимах передачи и приема сигналов включает три этапа.

На первом этапе выполняются задание электрических и магнитных токов эквивалентных первичных источников на диске и их нахождение по распределению компонентов электрического и магнитного полей в ближней зоне несущей поверхности [5]. Токи на диске удовлетворяют краевой задаче для резонатора, образованного на основании метода зеркальных отображений [5, 7] в форме двух дисков, центры которых находятся на перпендикулярной их поверхностям линии на удалении, равном удвоенному значению толщины диэлектрического покрытия.

На втором этапе по распределению полей, соответствующих токам на диске, с использованием уравнения векторного потенциала для полупространства, ограниченного бесконечно протяженной идеально проводящей плоскостью [7], находятся эквивалентные токи несущей поверхности [1].

На третьем этапе на основе волнового уравнения с функцией Грина для полупространства с плоской идеально проводящей границей [6, 7] вычисляются поляризационные компоненты электрического поля диска на несущей поверхности путем интегрирования эквивалентных токов в пределах ее линейных размеров.

2. Особенности построения модели дисковой антенны при несимметричном расположении на несущей поверхности

Модель дисковой антенны на диэлектрическом экране резонансных размеров представляет собой методическое совершенствование ранее известных моделей [6, 7], разработанных для исследования элемента, размещенного в центре прямоугольного экрана:

– в режимах излучения в горизонтальной плоскости при нулевой вариации поверхностного тока;

– однонаправленной передачи сигналов при первой вариации эквивалентного магнитного тока по кромке.

В отличие от ранее известных моделей, модель дисковой антенны с несимметричным расположением на несущей поверхности построена для нахождения характеристик избирательного приема сигналов за счет совместного вычисления первых вариаций поверхностного тока и эквивалентного магнитного тока по кромке. Ее применение позволяет исследовать элементы, включенные в состав антенных решеток [1], при расположении на различных удалениях от кромок с оценкой потерь усиления сигналов [1, 4] за счет асимметричного распределения токов.

К числу основных особенностей модели относятся следующие.

1. Задание параметрического распределения поверхностных токов диска с первой вариацией по азимутальной координате. В отличие от известных моделей, построенных для антенн в режимах излучения с осевой симметрией в горизонтальной плоскости при нулевой вариации поверхностного тока и однонаправленной передачи сигналов при первой вариации эквивалентного магнитного тока по кромке, установление первой вариации поверхностных токов [1] позволяет исследовать их возбуждение электромагнитными волнами сторонних источников в режиме приема.

2. Задание параметрического распределения эквивалентных токов несущей поверхности не только по радиальной, но и по азимутальной координате при смещении антенны относительно центра. В отличие от известных моделей, построенных при радиальном распределении эквивалентных токов подложек с центральным расположением области металлизации, определение азимутальных вариаций токов позволяет исследовать характеристики приема сигналов при различном удалении диска от кромок несущей поверхности.

3. Нахождение из граничных условий для электрического поля в области металлизации и магнитного поля на диэлектрической подложке токов и представления поляризационных компонентов электрического поля в дальней зоне полоскового элемента на подложке. В отличие от известных методик, построенных для анализа дисковых антенн в режиме излучения, вместо нулевой вариации поверхностного тока и первой вариации эквивалентного магнитного тока по кромке совместно вычисляются первые вариации токов. В отличие от известных подходов к расчету поля [6], принимаемого дисковой антенной с центральным размещением на диэлектрической подложке [6, 7], наряду с основным поляризационным компонентом вычисляется кросс-поляризационная составляющая, обусловленная асимметричным распределением токов вследствие смещения металлизированной области от центра экрана. Указанные действия позволяют найти закономерности возбуждения диска при расположении на различных удалениях от кромок и оценить потери усиления принимаемых сигналов за счет возникновения кросс-поляризационных составляющих диаграммы направленности [1, 6, 7].

При функционировании антенны в режиме излучения основной вклад в формирование поля вносит нулевая вариация поверхностного тока по кромке диска. Данный эффект обусловлен осесимметричным распределением первичных полей и эквивалентных токов диска.

Диаграмма направленности антенны в режиме приема сигналов в основном определяется величиной первой вариации эквивалентного магнитного тока по кромке диска.

По мере уменьшения толщины диэлектрического слоя наблюдается монотонное увеличение ширины диаграммы направленности антенны при более существенном нарушении пространственной симметрии. Рост диэлектрической проницаемости покрытия приводит к отклонению главного максимума диаграммы направленности антенны от несущей поверхности и сокращению ее ширины при фиксированном угле места. Одновременно при этом возрастают число локальных экстремумов в области боковых лепестков [1, 6] и уровень кросс-поляризационной составляющей диаграммы направленности.

Заключение

Изложены основные этапы построения электродинамической модели дисковой антенны, размещенной на плоском экране с покрытием из диэлектрического материала. Указаны особенности задания вариаций поверхностных токов и вычисления поляризационных составляющих электрического поля диска, обусловленные его несимметричным расположением на несущей поверхности. Исследованы закономерности трансформации диаграммы направленности антенны при изменении местоположения на несущей поверхности с различными линейными размерами и значениями диэлектрической проницаемости и толщины слоя покрытия.

Список литературы

1. Разиньков, С. Н. Электродинамический анализ полоскового элемента антенной решетки мобильного радиоэлектронного комплекса информационно-телекоммуникационной системы / С. Н. Разиньков, А. В. Евсеев // Телекоммуникации. – 2024. – № 4. – С. 15–25.

2. Львова, Л. А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов / Л. А. Львова. – Снежинск : РФЯЦ ВНИИТФ, 2003. – 232 с.

3. Жулев, В. И. Безопасность полетов летательных аппаратов / В. И. Жулев, В. С. Иванов. – М. : Транспорт, 1986. – 224 с.

4. Богословский, А. В. Критерий и методика синтеза антенных решеток для мобильных радиоэлектронных комплексов / А. В. Богословский, С. Н. Разиньков, Ю. В. Сторожук // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2022. – № 24. – С. 81–91.

5. Неганов, В. А. Современная теория и практические применения антенн / В. А. Неганов, Д. П. Табаков, Г. П. Яровой. – М. : Радиотехника, 2009. – 720 с.

6. Панченко, Б. А. Нано-антенны / Б. А. Панченко, М. Г. Гизатуллин. – М. : Радиотехника, 2010. – 96 с.
7. Электродинамический расчет характеристик излучения полосковых антенн / Б. А. Панченко [и др.]. – М. : Радио и связь, 2002. – 253 с.

Использование фазовой коррекции для устранения искажений сигнала в алгоритме демодуляции MMSE-SIC для систем MIMO

Д. Н. Борисов, email: borisov@sc.vsu.ru
Д. А. Семечев, email: semechev@cs.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В данной работе исследуется эффективность алгоритмов демодуляции в системах MIMO с использованием метода минимизации среднеквадратичной ошибки (MMSE) в сочетании с последовательной отменой интерференции (SIC). Проведено сравнение классического MMSE-SIC с модифицированным вариантом, включающим фазовую коррекцию, по показателям битовой ошибки (BER) в зависимости от отношения* E_b / N_0.

Ключевые слова: *MIMO, MMSE-SIC, фазовая коррекция, Eb/N0, битовая ошибка (BER), системы связи, пространственное разделение сигналов, демодуляция.*

Введение

Современные системы связи предъявляют всё более высокие требования к скорости передачи данных, спектральной эффективности и устойчивости к помехам. Технология множественного входа и выхода (MIMO, Multiple Input Multiple Output) занимает центральное место в обеспечении этих характеристик, позволяя одновременно передавать несколько потоков данных через многолучевой канал. Однако увеличение числа антенн в MIMO-системах неизбежно приводит к росту межканальной интерференции, что осложняет процесс демодуляции и снижает точность передачи данных.

Одним из популярных методов демодуляции сигналов в MIMO является алгоритм минимизации среднеквадратичной ошибки (MMSE) в сочетании с последовательной отменой интерференции (SIC). Этот метод обеспечивает приемлемую производительность при умеренной вычислительной сложности. Однако его эффективность существенно снижается в условиях многолучевого распространения, где фаза сигналов между антеннами оказывается сильно искажённой. Такие фазовые искажения приводят к снижению точности пространственного разделения сигналов и увеличению битовой ошибки.

© Борисов Д. Н., Семечев Д. А., 2025

В данной работе предлагается модифицированный алгоритм MMSE-SIC, включающий фазовую коррекцию для компенсации фазовых искажений в многолучевом канале. В ходе исследования проведено сравнение классического и модифицированного алгоритмов по показателям битовой ошибки (BER) в зависимости от отношения E_b / N_0. Результаты моделирования демонстрируют, что фазовая коррекция улучшает производительность демодуляции, особенно в условиях высоких значений E_b / N_0, где доминирующей становится межканальная интерференция.

Целью данной работы является исследование эффективности фазовой коррекции в алгоритмах MMSE-SIC для систем MIMO и анализ её влияния на качество связи. Полученные результаты могут быть полезны для разработки более эффективных алгоритмов демодуляции, применяемых в современных и будущих системах связи.

1. Алгоритмы демодуляции MIMO

Система MIMO использует несколько антенн на передающей и принимающей сторонах для повышения пропускной способности и спектральной эффективности. Передача данных в таких системах описывается следующим уравнением:

$$y = Hx + n, \tag{1}$$

где y и x – векторы приема и передачи, соответственно, а H и n – матрица канала и вектор шума, соответственно [1].

Матрица H учитывает такие физические явления, как затухание сигнала, отражения, многолучевость и фазовые сдвиги. Эти эффекты приводят к тому, что сигналы от разных передающих антенн накладываются друг на друга, создавая межканальную интерференцию.

Алгоритмы демодуляции в MIMO-системах играют ключевую роль в обеспечении точного восстановления переданных данных, минимизируя влияние шума, межканальной интерференции и многолучевого распространения. Эти задачи особенно актуальны для систем с большим количеством антенн, где сигналы от разных передающих устройств накладываются друг на друга, что усложняет их разделение на принимающей стороне. Развитие алгоритмов демодуляции обусловлено необходимостью улучшения спектральной эффективности и повышения надежности передачи данных.

Среди наиболее распространенных методов демодуляции в MIMO выделяются линейные и нелинейные подходы. Линейные методы, такие как Zero Forcing (ZF) и алгоритм минимизации среднеквадратичной ошибки (MMSE) [2], обеспечивают относительно низкую вычислитель-

ную сложность, что делает их подходящими для систем с большим количеством антенн. ZF устраняет межканальную интерференцию, проектируя фильтр, который обнуляет влияние сигналов соседних антенн. Однако этот метод склонен к усилению шума, особенно в условиях плохо обусловленных каналов. MMSE представляет собой усовершенствованный подход, который учитывает баланс между устранением интерференции и подавлением шума. Это делает его более устойчивым к шумовым воздействиям по сравнению с ZF.

Нелинейные методы, такие как Successive Interference Cancellation (SIC) и Sphere Decoding (SD), предлагают более высокую точность за счет последовательной обработки сигналов. SIC улучшает производительность демодуляции, последовательно оценивая сигналы с наибольшей мощностью и вычитая их вклад из общего сигнала. Однако его эффективность может снижаться в случае ошибок на ранних этапах обработки. Sphere Decoding реализует метод максимального правдоподобия с сокращенной вычислительной сложностью, что делает его подходящим для систем с малым числом антенн, где требуется высокая точность.

Перспективным подходом к повышению производительности связи в условиях многолучевого распространения и межканальной интерференции является комбинирование различных алгоритмов демодуляции, как линейных, так и нелинейных. Комбинированные методы, такие как V-BLAST с MMSE-SIC (Minimum Mean Square Error with Successive Interference Cancellation), представляют собой гибридный подход, который сочетает преимущества линейных и нелинейных стратегий. MMSE, используемый на каждом этапе, обеспечивает устойчивую оценку потока данных, минимизируя влияние шума и интерференции [3]. Затем последовательная отмена интерференции (SIC) вычитает вклад декодированных сигналов, снижая межканальную интерференцию для последующих шагов. Такой подход особенно эффективен при высоких значениях E_b / N_0, где доминирующим фактором становится межканальная интерференция, а не шум.

Основная задача MMSE заключается в минимизации среднеквадратичной ошибки между принимаемым сигналом и восстановленным вектором переданных символов. Фильтр MMSE определяется как:

$$W_{MMSE} = (H^H H + \sigma^2 I)^{-1} H^H, \quad (2)$$

где H – матрица канала, σ^2 – мощность шума, I – единичная матрица. Этот подход балансирует между устранением межканальной интерференции и подавлением шума, обеспечивая устойчивую работу даже в условиях многолучевого канала. Однако линейный характер

MMSE ограничивает его способность эффективно разделять потоки данных при высокой плотности антенн.

Для повышения точности демодуляции MMSE дополняется методом последовательной отмены интерференции (SIC). Алгоритм MMSE-SIC работает итеративно: на каждом шаге происходит декодирование одного из потоков данных, который затем вычитается из общего принимаемого сигнала. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут обработаны все потоки. Использование SIC позволяет поэтапно уменьшать уровень интерференции, что особенно важно в системах с большим числом передающих и принимающих антенн. Однако эффективность метода зависит от порядка декодирования потоков: неправильный выбор последовательности может привести к накоплению ошибок.

Сочетание MMSE с SIC является особенно мощным, поскольку оно объединяет два подхода: MMSE обеспечивает устойчивую фильтрацию на каждом этапе, а SIC поэтапно устраняет интерференцию, повышая точность демодуляции [4]. Этот гибридный метод хорошо работает при высоких значениях E_b / N_0, когда шум становится менее значимым, а доминирующей проблемой остается межканальная интерференция.

В физическом смысле эффективность MMSE-SIC объясняется тем, что метод учитывает пространственные характеристики канала и адаптируется к текущим условиям передачи. Включение регуляризации в MMSE позволяет учесть влияние шума и подавить его на уровне фильтрации. Последовательная отмена интерференции, в свою очередь, дополнительно снижает межканальные помехи, улучшая различимость потоков данных [5].

Современные исследования показывают, что алгоритмы на основе MMSE-SIC могут быть адаптированы для работы в реальных условиях, таких как каналы с высокой корреляцией антенн, фазовыми сдвигами и динамическими характеристиками. Например, модификации MMSE-SIC, включающие фазовую коррекцию, демонстрируют значительное улучшение производительности, особенно в условиях сложных многолучевых каналов. Такие улучшения открывают новые возможности для использования этих алгоритмов в системах беспроводной связи пятого поколения (5G) и будущих технологиях.

2. Фазовая коррекция в алгоритме MMSE-SIC

Хотя MMSE-SIC эффективно уменьшает интерференцию, он чувствителен к фазовым искажениям, вызванным многолучевым каналом. Это ограничивает его производительность в условиях реальных каналов. Добавление фазовой коррекции в алгоритм MMSE-

SIC представляет собой усовершенствование, направленное на улучшение производительности алгоритма в условиях сложных каналов передачи, подверженных фазовым искажениям [5]. Фазовая коррекция позволяет учитывать пространственно-временные особенности канала и минимизировать влияние фазовых сдвигов, которые возникают в результате многолучевого распространения и частотных селективных искажений.

Алгоритм MMSE-SIC, будучи эффективным инструментом для обработки сигналов в системах MIMO, изначально фокусируется на минимизации среднеквадратичной ошибки между принимаемым сигналом и восстановленными данными. Однако традиционный подход MMSE-SIC не учитывает фазовые искажения, которые могут нарушить ортогональность матрицы канала H, что приводит к снижению точности фильтрации и декодирования.

Введение фазовой коррекции заключается в предварительной обработке матрицы канала, направленной на устранение фазовых сдвигов. Для этого каждая компонента матрицы канала корректируется с использованием экспоненциального множителя:

$$H_{eff} = H \otimes e^{-j\angle H}, \tag{3}$$

где $\otimes$ – поэтапное умножение, $\angle H$ – матрица фазовых углов элементов канала. Эта операция эффективно устраняет фазовую составляющую, оставляя только амплитудную информацию, что позволяет улучшить точность вычисления фильтра MMSE.

После применения фазовой коррекции адаптивный фильтр MMSE рассчитывается с учетом скорректированной матрицы канала:

$$W_{MMSE} = (H_{eff}^H H_{eff} + \sigma^2 I)^{-1} H_{eff}^H . \tag{4}$$

Данная модификация позволяет более точно оценивать символы, даже в условиях значительных фазовых искажений. После получения декодированного символа его влияние удаляется из принимаемого сигнала, что реализуется через метод последовательной отмены интерференции (SIC).

3. Сравнение классического алгоритма MMSE-SIC с алгоритмом, использующим фазовую корреляцию

В ходе исследования были проведены численные эксперименты, направленные на сравнительный анализ работы алгоритма MMSE-SIC с фазовой коррекцией и классического MMSE-SIC без учёта фазовых искажений на системах MIMO с 16 передающими и 16 принимающими антеннами. Основным критерием оценки эффективности алгоритмов выступало значение битовой ошибки (BER) в зависимости

от отношения энергии бита к спектральной плотности шума (E_b / N_0) в диапазоне от 0 до 30 дБ.

Результаты моделирования показали, что использование фазовой коррекции в алгоритме MMSE-SIC позволяет значительно уменьшить уровень битовых ошибок на всём диапазоне значений E_b / N_0 (см. рисунок). Особенно заметное преимущество наблюдалось в условиях среднего и высокого уровня E_b / N_0 (более 10 дБ). Это связано с тем, что фазовая коррекция эффективно устраняет искажения, вызванные случайной фазовой составляющей канала, что в значительной степени снижает интерференцию между символами и антенной решёткой.

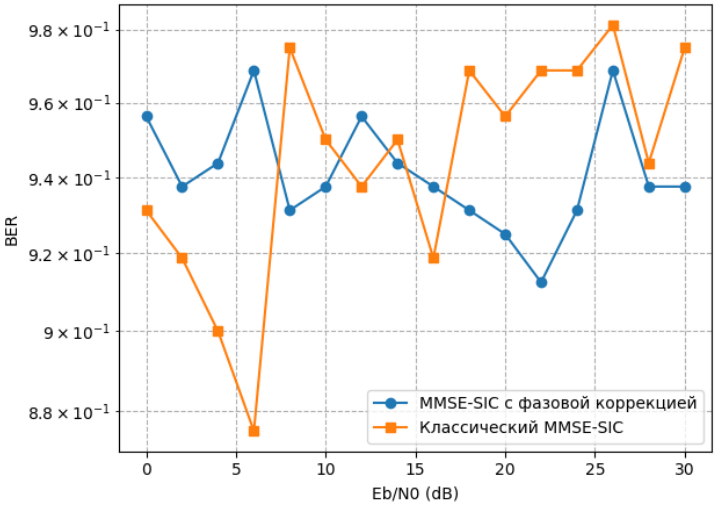


Рисунок. Сравнение количества ошибок на бит при использовании MMSE-SIC с использованием и без использования фазовой коррекции

Для низких значений E_b / N_0 (менее 10 дБ) наблюдается менее выраженное преимущество предложенного метода над классическим. Это объясняется преобладающим воздействием аддитивного белого гауссового шума (AWGN), который становится доминирующим фактором деградации сигнала. Однако даже в этих условиях алгоритм с фазовой коррекцией демонстрирует улучшенные показатели BER, что свидетельствует о его устойчивости к фазовым флуктуациям.

Заключение

В данной работе был проведён сравнительный анализ алгоритма MMSE-SIC с фазовой коррекцией и классического MMSE-SIC без учёта фазовых искажений в системах связи MIMO. Основное внимание уделялось влиянию фазовой коррекции на характеристики системы, выраженные через битовую ошибку (BER), в зависимости от отношения энергии бита к спектральной плотности шума (E_b / N_0).

Результаты численного моделирования показали, что использование фазовой коррекции позволяет значительно снизить уровень битовых ошибок, особенно в условиях среднего и высокого значения E_b / N_0. Фазовая коррекция обеспечивает устранение фазовых искажений, что способствует более эффективному подавлению межсимвольной и межканальной интерференции. Кроме того, адаптивная регуляризация улучшает стабильность алгоритма и его производительность в системах с большим числом антенн.

Список литературы

1. MIMO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO
2. MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB / Cho Y. S. [et al.] ; John Wiley & Sons. – Singapore : IEEE Press, 2010. – 544 p.
3. Бакулин, М. Г. Технология MIMO: принципы и алгоритмы [Текст] / М. Г. Бакулин, Л. А. Варукина, В. Б. Крейнделин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 244 с.
4. Bergin, J. MIMO Radar. Theory and Application / J. Bergin, J. R. Guerci. – London : Artech House, 2018. – 229 p.
5. Hybrid precoding technique with iterative algorithm for MIMO-OFDM system / S. Lee [et al.] // IEEE Access. – 2020. – vol. 8. – pp. 171423–171434.
6. Phase Error Correction in Sparse Linear MIMO Radar Based on the Equivalent Phase Center Principle / W. Shao [et al.] // Remote Sensing. – 2024. – vol. 16, № 19. – p. 3685.

Разработка программного обеспечения для фазированной антенной решетки

Д. А. Быченко, email: bychenko-work@mail.ru
С. А. Самодуров, email: unaxel2000@mail.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Разработано программное обеспечение, предназначенное для моделирования и обработки данных в системе, основанной на принципах фазированной антенной решетки.*

Ключевые слова: *фазированная антенная решетка, диаграмма направленности, фазовый сдвиг.*

Введение

В современном мире важную роль играет развитие различных технологий в ключевых для человека сферах. Одной из таковых является радиоэлектроника (радиолокация, радионавигация). В том числе для того, чтобы обеспечить работоспособность оборудования, применяемого для решения вышеперечисленных задач, нужно правильно обрабатывать поступающие сигналы. Антенны могут являются одним из инструментов, подходящих для решения этих задач.

Существуют различные виды антенн, которые используются для приема и передачи сигналов в различных радиотехнических системах. Микрополосковые антенны используются в мобильных устройствах, рупорная антенна обеспечивает высокую направленность и применяется в спутниковой связи, щелевая антенна встречается в радарах и используется для работы в узком диапазоне частот, фазированные антенные решетки (ФАР) могут быть использованы при решении задач радиолокации и радиопеленгации.

В рамках работы будет рассматриваться ФАР. Фазированная антенная решетка представляет совокупность антенных элементов, которые могут работать независимо друг от друга, что позволяет формировать узкий луч сигнала и управлять диаграммой направленности антенной решетки в целом. Такой подход может обеспечить высокое качество связи. Однако для того, чтобы система эффективно функционировала необходимо наличие качественного программного обеспечения [1, 2].

© Быченко Д. А., Самодуров С. А., 2025

1. Анализ предшествующих работ

В данный момент существует ряд пакетов программного обеспечения, позволяющих обрабатывать сигналы, поступающие с элементов антенной решетки. Однако каждый из них имеет свои ограничения, которые могут оказаться критичными в зависимости от конкретных условий использования. Для анализа достоинств и недостатков предлагаемых систем можно рассмотреть самые популярные варианты решения проблемы.

GNU Radio – это бесплатная платформа с открытым исходным кодом, предназначенная для создания систем обработки сигналов. Основное преимущество этой платформы заключается в ее модульной архитектуре, которая позволяет пользователям легко комбинировать готовые модули для реализации сложных систем обработки. Данная система имеет множество библиотек, значительно расширяющих базовый функционал. К недостаткам GNU Radio можно отнести производительность. Платформа может испытывать трудности при обработке больших объемов данных в реальном времени. Особенно это отмечается при работе с высокими частотами дискретизации и множеством параллельных сигналов.

LabVIEW – это программное обеспечение, которое ориентируется на интерактивные системы измерения и визуализацию данных. Основной особенностью LabVIEW является его графический язык программирования, который позволяет создавать программы путем соединения функциональных блоков. Данная программа имеет множество функций для анализа и обработки сигнала. В ней используются мощные инструменты для визуализации итоговых данных. Однако для работы с данным программным обеспечением необходимо приобрести лицензию. Многие функции платформы оптимизированы для работы с оборудованием компании National Instruments, что ограничивает гибкость при использовании сторонних устройств.

В качестве еще одного решения можно выделить MatLab. Он содержит множество функций и библиотек для обработки сигналов, включая фильтрацию, преобразование Фурье, спектральный анализ и многое другое. С его помощью можно настроить интеграцию с другими платформами и различными устройствами. Но в MatLab многие встроенные функции имеют ограниченную возможность модификации, что снижает гибкость работы, а также система имеет платную лицензию для разработки.

На основе всего вышесказанного можно выделить несколько ключевых недостатков существующих приложений. Ограниченная

поддержка работы с несколькими приемниками – большинство существующих решений плохо масштабируются для обработки данных с нескольких источников в реальном времени. Также стоит отметить, что большинство программ, имеющих необходимые инструменты анализа, имеют платную лицензию и закрытый код, что ограничивает гибкость использования.

Задачей данной работы является создание легковесной и доступной программы, которая позволит обрабатывать сигналы с нескольких приемников одновременно. Это решение будет ориентировано на выполнение расчетов в реальном времени с возможностью гибкой настройки и визуализации результатов.

2. Методы и материалы

Для приема радиосигналов были использованы приемники RTL-SDR, каждый из которых подключен к отдельной антенне. В качестве главных преимуществ можно выделить следующие особенности. Широкий диапазон частот: приемник способен принимать сигналы в диапазоне от 25 МГц до 1,7 ГГц, что позволяет работать с большинством интересующих радиочастот, включая любительскую радиосвязь, спутниковые сигналы, авиационную связь, а также FM и AM виды радиовещания. Также RTL-SDR подключается через USB-интерфейс, что значительно упрощает использование устройства. Благодаря указанным особенностям, можно сделать вывод, что данный приемник имеет большую универсальность для необходимой работы [3, 4].

Python был выбран в качестве основного языка программирования для разработки алгоритмов обработки данных. Для Python существует большое количество библиотек, которые будут полезны при разработке программы данной специфики. Также Python характеризуется кроссплатформенностью, что позволит запускать итоговую программу на различных операционных системах.

Для работы с самими приёмниками используется специальная библиотека rtl-sdr. Это набор инструментов для работы с радиоприемниками RTL-SDR. При помощи нее можно обеспечить управление частотой дискретизации и центральной частотой сигнала на каждом подключенном приемнике; принимать данные с нескольких приемников единовременно; а также настраивать параметры, такие как коэффициент усиления и ширина полосы частот. Данные достоинства позволят правильно настроить антенную решетку и обеспечить чтение и обработку данных с нескольких приемников одновременно [5].

При обработке поступающих данных используются библиотеки NumPy и SciPy. Они предназначены для работы с численными

массивами и большими математическими операциями. В частности, данные библиотеки нужны для: обработки сигналов, включая расчет фазовых сдвигов и корреляции между данными; выполнения тригонометрических и линейных расчетов при построении диаграммы направленности; оптимизации вычислений за счет встроенных алгоритмов [6].

Для вывода и построения преобразованных данных используется библиотека matplotlib. В рамках работы она отвечает за построение диаграммы направленности сигнала, отображение корреляционных данных для определения направления на источник сигнала и экспорт полученных результатов в различных форматах, таких как PNG, SCG и PDF, для возможности их дальнейшего использования.

3. Результаты и их обсуждения

В ходе работы над поставленной задачей был смоделирован тестовый стенд, состоящий из трех антенн, подключенных к приемникам RTL-SDR. Антенны располагаются строго на окружности с изначально заданным радиусом R. Программа будет моделировать их расположение на плоскости по формуле (1), где N – это количество антенн.

$$x_i = R \cdot \cos(\frac{2\pi i}{N}), y_i = R \cdot \sin(\frac{2\pi i}{N}), i = 0,1,...,N-1 \quad (1)$$

Антенны равномерно распределяются по окружности. Такое расположение упростит дальнейший расчет фазовых сдвигов. Также для каждой полученной пары антенн необходимо рассчитать разности координат по формуле (2):

$$\Delta x_{ij} = x_i - x_j, \Delta y_{ij} = y_i - y_j. \quad (2)$$

При помощи разности координат определяется положение антенн относительно друг друга. На основании полученных значений рассчитывается ожидаемый фазовый сдвиг для всех возможных направлений для каждой пары антенн при помощи формулы (3), где λ – длина волны:

$$\varphi_{ij} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (\Delta x_{ij} \cdot \cos\theta + \Delta y_{ij} \cdot \sin\theta). \quad (3)$$

Для получения фактических сигналов используются приёмники RTL-SDR, каждый из которых подключен к своей антенне. Чтобы избежать расхождений в получаемых данных, приемники важно настроить на одинаковую частоту дискретизации и центральную частоту. В дальнейшем параметры можно изменять для тестирования

работы с различными сигналами. Чтение данных с приемника осуществляется при помощи метода read_samples, представленного в библиотеке rtl-sdr.

На основании полученных сигналов с каждой пары антенн по формуле (4) рассчитывается фактический фазовый сдвиг, где $corr(s_i, s_j)$ – корреляция между отсчетами для каждой антенны из пары:

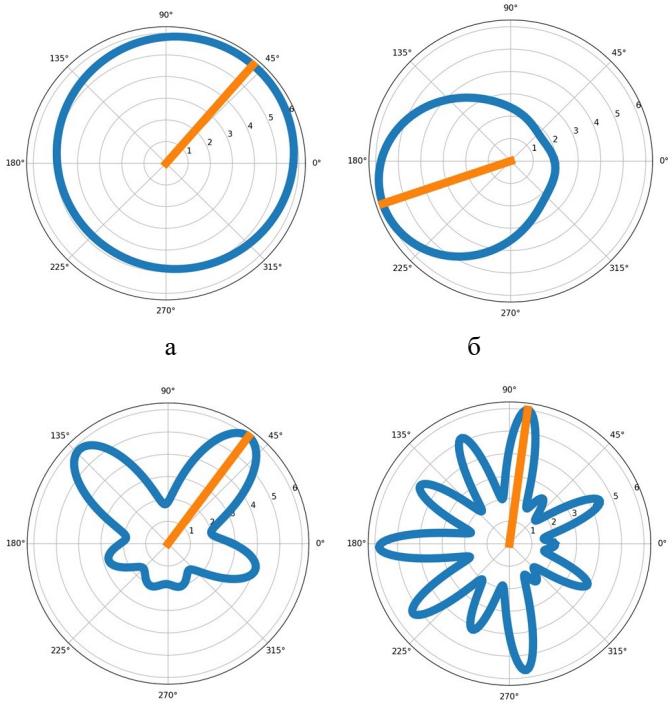
$$\Delta\varphi_{ij} = \arg\max(corr(s_i, s_j)). \quad (4)$$

Фазовые сдвиги показывают разницу времени прихода сигнала на каждую пару антенн. Полученные данные сравниваются с ожидаемыми значениями, чтобы получить направление источника. Для этого рассчитывается корреляция между ожидаемыми и фактическими сдвигами по формуле (5):

$$C(\theta) = \sum_{(i,j)} \cos(\varphi_{ij}^{\text{expected}} - \varphi_{ij}^{\text{actual}}) + 1. \quad (5)$$

Наконец, происходит отображение диаграммы направленности. Она строится в полярной системе координат, где каждая точка соответствует определенному направлению и корреляции. Также, на диаграмме дополнительно отмечается направление с максимальной корреляцией, которое соответствует источнику сигнала [7].

В результате проведенного исследования были получены диаграммы направленности для различных частот сигналов, поступающих с трех приемников, которые можно увидеть на рисунке. Однако по азимутальному углу получаемые значения имеют хаотичный вид, что свидетельствует о значительных отклонениях от ожидаемой модели направленности. Такой результат может быть связан с временными задержками в сигнале, которые возникают из-за недостаточной синхронизации между приемниками. Это объясняется техническими ограничениями используемого оборудования. Приемники работают независимо, и каждый из них имеет собственный тактовый генератор, что приводит к рассинхронизации в отсчетах времени. Даже небольшие отклонения в синхронизации могут оказывать значительное влияние на фазовую составляющую сигнала, что критично для алгоритмов, использующих фазовый сдвиг для определения направления прихода сигнала. Решить данную проблему можно при введении дополнительной синхронизации: аппаратной или программной.



а б

в г

а – частота 56МГц, б – частота 144МГц,
в – частота 434МГц, г – частота 1ГГц

Рисунок. Диаграммы направленности, полученные в результате работы программы

Заключение

В рамках проделанной работы было разработано программное обеспечение, предназначенное для моделирования и обработки данных в системе, основанной на принципах фазированной антенной решетки (ФАР). Основная цель программы – прием данных с нескольких независимых источников, их обработка и построение диаграммы направленности, которая позволяет определить направление прихода радиосигнала.

Программа успешно реализует возможность одновременной работы с несколькими приемниками, используя их данные для расчетов фазовых сдвигов и корреляции с теоретическими моделями. Построение

диаграммы направленности осуществляется в полярной системе координат, что дает визуальное представление о распределении мощности сигнала по азимутальным углам.

Однако в процессе тестирования программы выявились определенные ограничения, связанные с хаотичным характером получаемых данных. Это существенно влияет на точность построения диаграммы направленности и приводит к некорректному отображению направления источника сигнала. Анализ полученных данных показал, что основным источником этой проблемы является отсутствие синхронизации между приемниками.

Список литературы

1. Вендик, О. Г. Фазированная антенная решетка – глаза радиотехнической системы / О. Г. Вендик // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 2. – С. 115-120.

2. Чирков, О. Н. Современные методы оценки канала радиосвязи в условиях многолучевости / О. Н. Чирков, М. А. Ромащенко, М. Ю. Чепелев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2019. – Т. 15, №3. – С. 68-73.

3. Ашихмин, А. В. Обоснование возможности использования упрощенной электродинамической модели самолета в виде совокупности конуса и цилиндра / А. В. Ашихмин, К. А. Разинкин, А. С. Самодуров // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1, №11. – С. 34-39.

4. RTL-SDR.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/

5. Osmocom [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://osmocom.org/projects/rtl-sdr/wiki

6. SciPy [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.scipy.org/doc/scipy/

7. Haring, J. Directional pattern analysis of a linear phased antenna arrays / J. Haring, N. Majer, R. Hronec // Advances in Electrical and Electronic Engineering. – 2008. – №7. – pp. 74-77.

Вычислительная реализация анализа переходных процессов в диоде с накоплением заряда

А. С. Величкина, email: nastyavelichkina65@gmail.com
А. А. Кононов, email: kononov@phys.vsu.ru
Г. К. Усков, email: uskov@phys.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе рассматривается решение диффузионно-дрейфового уравнения, описывающего физические процессы в диоде с накоплением заряда. Приведены теоретические соотношения для расчёта распределения заряда и плотности тока, даны рекомендации по практическому применению, рассмотрен количественный пример.*

Ключевые слова: *диод с накоплением заряда, распределение концентрации носителей, диффузионно-дрейфовое уравнение, рассасывание заряда, плотность тока.*

Введение

Рассматривая распределение неосновных носителей заряда в диоде, мы будем пользоваться моделью плоскостного полупроводникового диода с полубесконечной базой *n*-типа. При этом делаются следующие достаточно традиционные допущения.

Прежде всего, будем считать, что в базе существует постоянное электрическое поле напряжённостью E (ускоряющее или тормозящее при $E > 0$ или $E < 0$, соответственно), направленное перпендикулярно плоскости *p*-*n*-перехода. Далее, предполагается, что проводимость дырочной области много больше, чем у электронной области, и поэтому при протекании прямого тока происходит только инжекция дырок в *n*-область (но не «вытягивание» оттуда электронов), причём уровень инжекции достаточно низок, чтобы не влиять на величину поля E в базе диода. Кроме того, время жизни дырок в базе τ_p считается постоянным и не зависящим от уровня инжекции. В то же время, плотность проходящего через диод прямого тока должна принимать достаточно большие значения, чтобы концентрация избыточных дырок в базе существенно превосходила равновесную концентрацию (которая, таким образом, полагается пренебрежимо малой).

© Величкина А. С., Кононов А. А., Усков Г. К., 2025

1. Распределение носителей заряда при накоплении и во время 1-й фазы рассасывания

Сначала рассмотрим этап накопления заряда в диоде. В настоящем разделе будет сформулирована математическая постановка задачи, включающая уравнение в частных производных, описывающее распределение неосновных носителей заряда на любом этапе, а также начальное и краевое условия, соответствующие заданной граничной плотности тока (закон изменения которой может описывать как прямой ток, так и последующий обратный импульс).

Итак, предметом исследования является распределение концентрации $p(x,t)$ избыточных дырок в базе диода, при вышеперечисленных предположениях описывающееся следующим диффузионно-дрейфовым уравнением:

$$\frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2} - \frac{qE}{kT} D_p \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} - \frac{p(x,t)}{\tau_p}, \qquad (1)$$

где $x > 0$ – расстояние от *p-n* перехода;

t – время;

D_p – коэффициент диффузии дырок;

$q = 1.602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\ Кл$ – элементарный электрический заряд;

E – напряжённость электрического поля в базе диода;

$k = 1.380\,649 \cdot 10^{-23}\ Дж/К$ – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура;

τ_p – время жизни дырок в базе.

Уравнение (1) дополняется начальным и граничным условиями

$$p(x,t_0) = 0, \quad -qD_p \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} + q\mu_p E p(x,t)\Big|_{x=0} = j(t), \qquad (2)$$

где t_0 – начальный момент времени;

μ_p – коэффициент подвижности дырок, равный (в соответствии с соотношением Эйнштейна–Смолуховского)

$$\mu_p = \frac{D_p q}{kT}; \qquad (3)$$

$j(t)$ – закон изменения плотности тока с течением времени (совместно описывающий импульс и прямого тока, и следующее за ним достаточно резкое переключение полярности).

Физический смысл условий (2) в том, что до момента t_0 как проходящий через диод ток, так и концентрация избыточных дырок равны нулю, а далее через диод начинает протекать ток, плотность которого на границе базы задана (что порождает соответствующее краевое условие смешанного типа).

Диффузионно-дрейфовое уравнение (1), как показывает анализ [1, 2], может быть преобразовано к уравнению типа теплопроводности [3, 4], имеющему (более простой) вид

$$\frac{\partial u(x_n,t_n)}{\partial t_n}=\frac{\partial^2 u(x_n,t_n)}{\partial x_n^2}, \tag{4}$$

где функция $u(x_n,t_n)$ связана с искомым распределением заменой

$$p(x,t)=p\left(x_nL_p,t_n\tau_p\right)=u(x_n,t_n)\cdot e^{E_nx_n-\left(1+E_n^2\right)t_n}, \tag{5}$$

а нормированные переменные вводятся соотношениями

$$x_n=\frac{x}{L_p},\quad t_n=\frac{t}{\tau_p},\quad E_n=\frac{qEL_p}{2kT},\quad L_p=\sqrt{D_p\tau_p}; \tag{6}$$

L_p имеет смысл диффузионной длины свободного пробега дырок.

Переходу от (1) к (4) соответствуют новые начальное и граничное условия [1, 2]

$$u(x_n,t_{n0})=0,\quad \frac{\partial u(x_n,t_n)}{\partial x_n}-E_nu(x_n,t_n)\bigg|_{x_n=0}=f(t_n), \tag{7}$$

использующие вспомогательную функцию

$$f(t_n)\equiv-\frac{j(t)L_p}{qD_p}\cdot e^{\left(1+E_n^2\right)t_n}=-\frac{j\left(t_n\tau_p\right)}{q}\sqrt{\frac{\tau_p}{D_p}}\cdot e^{\left(1+E_n^2\right)t_n} \tag{8}$$

и нормированное значение начального момента времени

$$t_{n0}=t_0/\tau_p. \tag{9}$$

Поиск решения краевой задачи (4), (7) в форме теплового потенциала простого слоя [4, 5] приводит к формуле [2]

$$u(x_n,t_n)=\int_{t_{n0}}^{t_n}f(\tau)\left(\frac{E_n}{\sqrt{\pi}}\int_{\tau}^{t_n}R(\tilde{\tau},\tau)\frac{e^{\frac{-x_n^2}{4(t_n-\tilde{\tau})}}}{\sqrt{\pi(t_n-\tilde{\tau})}}d\tilde{\tau}-\frac{e^{\frac{-x_n^2}{4(t_n-\tau)}}}{\sqrt{\pi(t_n-\tau)}}\right)d\tau, \tag{10}$$

где R – функция, имеющая вид

$$R(\tau,\tilde{\tau}) = \frac{1}{\sqrt{\tau-\tilde{\tau}}} + \sqrt{\pi}E_n e^{E_n^2(\tau-\tilde{\tau})}\left(\operatorname{erf}\left(E_n\sqrt{\tau-\tilde{\tau}}\right)-1\right) \qquad (11)$$

(она получается в качестве резольвентного ядра [6, 7] при решении интегрального уравнения Вольтерра 2-го рода, которое возникает в ходе применения метода тепловых потенциалов).

Окончательное решение для искомого закона распределения носителей заряда на протяжении 1-й фазы рассасывания вычисляется с применением соотношений (8) и (5). При этом интегрирование (10) с подстановкой (11) должно быть реализовано численным образом [8]; в данной работе оно выполнялось по адаптивному квадратурному алгоритму в среде MATLAB [9, 10].

Приведённые расчётные соотношения сохраняют свою силу с начального момента времени t_0 до момента окончания 1-й фазы рассасывания t_1. Переход к 2-й фазе характеризуется тем, что диод «закрывается» из-за снижения концентрации носителей заряда вблизи *p*-*n* перехода до нуля. Следовательно, момент t_1 определяется из условия

$$p(0,t_1) = 0 \Leftrightarrow u\left(0,\frac{t_1}{\tau_p}\right) = 0, \qquad (12)$$

причём также численно; в настоящей работе использовался входящий в состав MATLAB итеративный метод, не требующий расчёта производной [11, 12]. На практике для большей эффективности рекомендуется предварительно осуществить интерполяцию значений $p(0,t)$, рассчитанных для некоторого дискретного набора t (поскольку непосредственное использование соотношений (10)–(11) в необходимом для достижения высокой точности количестве итераций может быть требовательно к вычислительным ресурсам); в рамках данного исследования применялись кубические сплайны [13].

После момента t_1 плотность тока на границе определяется только процессом рассасывания заряда, к анализу которого мы теперь и переходим.

2. Распределение заряда и плотность тока на протяжении 2-й фазы рассасывания

Как указано выше, с момента t_1 начинается 2-я фаза рассасывания заряда, соответствующая «этапу восстановления высокого обратного сопротивления». Проведённый нами расчёт предшествовавших этому

процессов позволяет не только определить точное значение t_1, но и получить необходимую информацию для вычисления последующего изменения концентрации носителей, а также самой формы импульса обратного тока рассасывания.

При $t \geq t_1$ уравнение (1) – а вместе с ним и (4) – остаётся в силе (поскольку физическая модель процессов в ДНЗ не меняется), в отличие от граничного и начального условий, которые для 2-й фазы требуют корректировки. Именно, в качестве начального условия 2-й фазы принимается конечное распределение заряда, рассчитанное по формулам для 1-й фазы, а краевое условие теперь обеспечивает равенство нулю концентрации носителей при $x = 0$:

$$p(x,0) = p(x,t_1) = p_1(x), \quad p(0,t) = 0; \tag{13}$$

с учётом (5)–(6) эти условия переписываются в терминах нормированных переменных и функции u следующим образом:

$$u(x_n, t_{n1}) = u_1(x_n), \quad u(0,t_n) = 0, \tag{14}$$

где введены обозначения для начального распределения $u_1(x_n)$ функции $u(x_n,t_n)$ (являющегося конечным для 1-го этапа) и нормированного значения t_{n1} момента времени t_1:

$$u_1(x_n) = p_1(x_n L_p) \cdot e^{(1+E_n^2)\cdot t_{n1} - E_n \cdot x_n}, \quad t_{n1} = \frac{t_1}{\tau_p}. \tag{15}$$

Изменение распределения концентрации заряда на протяжении 2-й фазы может быть найдено из решения уравнения (4) с условиями (14). Это решение, как известно [4], имеет вид

$$u(x_n,t_n) = \int_0^\infty u_1(\xi) \cdot G(x_n,t_n;\xi,t_{n1})\, d\xi, \tag{16}$$

где функция Грина данной задачи равна

$$G(x_n,t_n;\xi,t_{n1}) = \frac{1}{2\sqrt{\pi(t_n-\tau)}} \left(e^{\frac{-(x_n-\xi)^2}{4(t_n-\tau)}} - e^{\frac{-(x_n+\xi)^2}{4(t_n-\tau)}} \right). \tag{17}$$

Возвращаясь к исходным величинам с помощью (5)–(6), можно исследовать ход изменения пространственного распределения заряда во время 2-й фазы. Интегрирование опять выполняется численно, причём в несобственном интеграле (16) допустимо использовать

конечный верхний предел, так как u_1, как и p_1, при больших значениях координаты достаточно быстро стремится к нулю. Далее, для большей эффективности итеративных алгоритмов интегрирования (как и для определения момента t_1 в предыдущем разделе) целесообразно сначала выполнить интерполяцию зависимости $u_1(x_n)$.

Наконец, плотность тока рассасывания заряда на протяжении 2-й фазы может быть найдена, если вновь обратиться к граничному условию из (2), принимающему в данном случае с учётом (13) вид

$$j(t) = -qD_p \left.\frac{\partial p(x,t)}{\partial x}\right|_{x=0} = -q \cdot e^{-\left(1+E_n^2\right)t_n} \cdot \frac{D_p}{L_p} \left.\frac{\partial u(x_n,t_n)}{\partial x_n}\right|_{x=0}. \qquad (18)$$

Дифференцирование (16) по x_n ведётся под знаком интеграла; учитывая явный вид функции Грина (17), получаем

$$\left.\frac{\partial u(x_n,t_n)}{\partial x_n}\right|_{x=0} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\left(t_n - t_{n1}\right)^{3/2}} \int_0^\infty u_1(\xi) \cdot \xi \cdot e^{\frac{-\xi^2}{4(t_n - t_{n1})}} d\xi, \qquad (19)$$

и окончательно

$$j(t) = -q\sqrt{D_p}\tau_p \cdot \frac{e^{-\left(1+E_n^2\right)\cdot\frac{t-t_1}{\tau_p}}}{2\sqrt{\pi}\left(t-t_1\right)^{3/2}} \int_0^\infty p_1\left(\xi L_p\right) \cdot \xi \cdot e^{\frac{-\xi^2\tau_p}{4(t-t_1)} - E_n\xi} d\xi, \qquad (20)$$

хотя для практики бывает достаточно пользоваться (19) с интерполированной зависимостью $u_1(\xi)$ и последующей заменой (18).

3. Пример расчёта переходных процессов в ДНЗ

Для иллюстрации применения вышеприведённых расчётных соотношений рассмотрим один конкретный пример.

Зададимся следующими типовыми значениями входящих в вышеперечисленные формулы параметров [14]:

$D_p = 0.18 \cdot 10^{-4}\ м^2/с$; $\tau_p = 20\ нс$ (так что $L_p = 0.6\ мкм$); $T = 300\ K$;

поле в базе диода для простоты будем считать достаточно малым, например, $E = 1\ В/м$ (так что $E_n \approx 1.16 \cdot 10^{-5}$).

При указанных значениях параметров выполним расчёт распределения заряда и плотности тока.

На рис. 1 изображены графики распределения $p(x,t)$. Зависимость от времени t визуализирована для различных фиксированных значений координаты x (в том числе, показан наиболее важный для вычислений случай $x=0$), при этом диапазон изменения t охватывает как 1-ю, так и 2-ю фазы рассасывания. Переходный момент (отмеченный на этом и следующем рисунках красным кружком) оказался в результате данного моделирования равен $t_1 \approx 1.79867$ *нс* (значение определено из условия (12) вышеописанным способом). Пунктиром показан ход изменения кривых $p(x,t)$, имевший бы место, если бы при $t > t_1$ оставались в силе физические условия, соответствующие 1-й фазе.

Зависимость от координаты x построена для нескольких значений $t = const$, включающих t_{max} (в этот момент $p(0,t)$ достигает своего максимума), а также t_1 (выделено сплошной линией; соответствует $p(x,t_1) = p_1(x)$, то есть начальному условию для 2-й фазы).

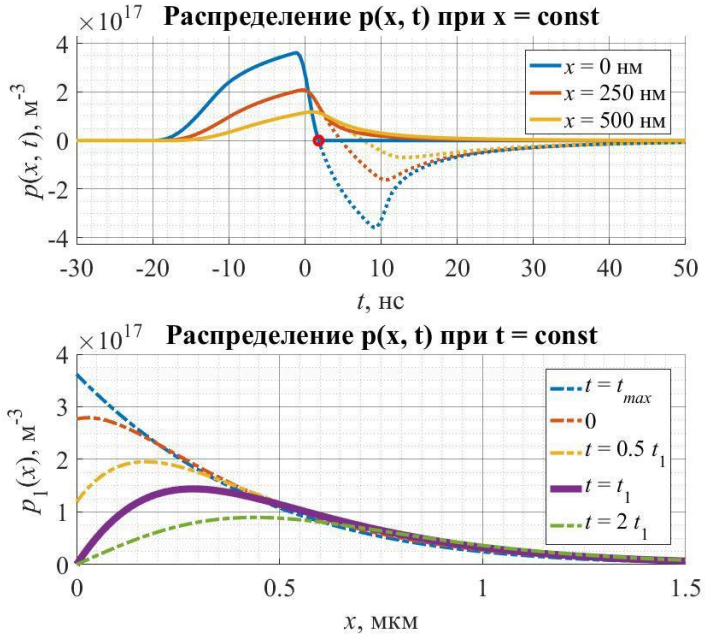


Рис. 1. Распределение неосновных носителей заряда в ДНЗ

Из вышеприведённых графиков видно, что неосновные носители заряда, в основном, сосредоточены на глубинах $x \le 1.5$ *мкм*; для большей точности, в процессе расчётов использовалось моделирование вплоть до $x = 3.0$ *мкм*.

На рис. 2 показана зависимость плотности тока на границе базы ДНЗ от времени. Приводится как график запускающего импульса, определяющего накапливание заряда и 1-ю фазу рассасывания, так и визуализация итогового закона изменения плотности тока с учётом наступления 2-й фазы в момент t_1. При этом на график запускающего импульса наложена кривая, соответствующая проверке точности выполнения граничного условия (2); для её расчёта нормальная производная численно оценивалась как соответствующая взвешенная конечная разность с приращением координаты $dx = 0.1$ *нм*. Весьма точное совпадение линий свидетельствует о достаточно низком уровне погрешностей (отдельные малые отклонения численных данных вызваны неустойчивым характером численного дифференцирования; дальнейшее улучшение точности возможно за счёт задания более строгих пределов допустимых ошибок численного интегрирования).

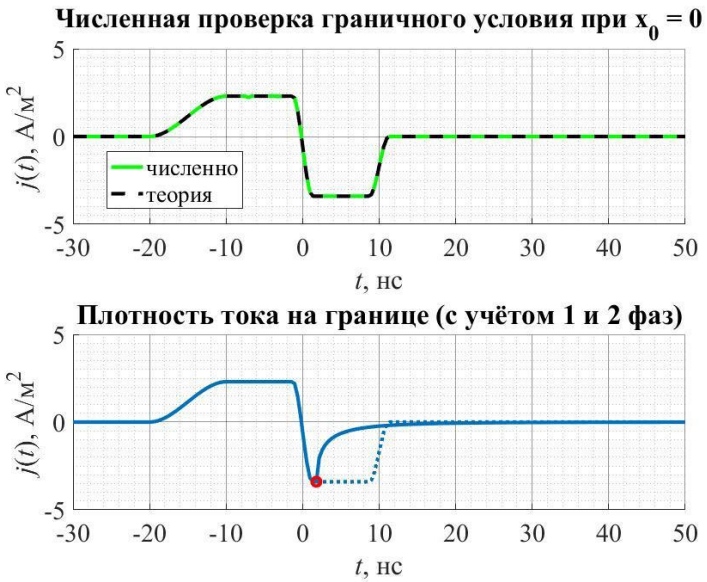


Рис. 2. Зависимость плотности тока на границе от времени

Для полноты поясним, что задающая условие (2) плотность тока (которая изображена на рис. 2 и определила форму кривых на рис. 1 в результате моделирования) в данном случае принимает значения около $10^0\ A/м^2$ (в то время как в реальных ДНЗ с малой площадью поперечного сечения эта величина может быть на несколько порядков выше). Это сделано для большей наглядности сопоставления масштабов исследуемых величин: ввиду линейности рассмотренных дифференциальных уравнений и соответствующих граничных условий, домножение $j(t)$ на константу приведёт только к увеличению результатов расчёта в такое же число раз по абсолютному значению.

Заключение

В работе приводится точное решение диффузионно-дрейфового дифференциального уравнения в частных производных, на основе чего получены аналитические соотношения для распределения концентрации носителей заряда в ДНЗ, а также плотности тока 2-й фазы рассасывания. Даются рекомендации по практической реализации расчётов по полученным формулам, учитывающие нюансы, обусловленные необходимостью численного выполнения таких операций, как интегрирование и поиск корня нелинейной функции.

Рассмотрен пример с конкретными типовыми значениями параметров, проведено количественно исследование, построены графики основных зависимостей.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00891, https://rscf.ru/project/24-19-00891/.

Для выполнения численных расчетов в ходе верификации представленных в работе теоретических соотношений использовалось оборудование учебно-научного дизайн-центра проектирования радиоэлектронных систем СВЧ, терагерцового и оптического диапазонов на отечественной электронной компонентной базе ФГБОУ ВО «ВГУ» в рамках реализации федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности».

Список литературы

1. Еремин, С. А. Полупроводниковые диоды с накоплением заряда и их применение / С. А. Еремин, О. К. Мокеев, Ю. Р. Носов. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : «Советское радио», 1966. – 152 с.

2. Величкина, А. С. Расчёт переходных процессов в диоде с накоплением заряда на основе точного решения диффузионно-

дрейфового уравнения / А. С. Величкина, А. А. Кононов, А. Е. Елфимов, Г. К. Усков // VII Научный форум «Телекоммуникации: теория и технологии» : сб. тр. участников XXI Междунар. научно-практической конф. «Физика и технические приложения волновых процессов» (Самара, 6-8 ноября 2024 г.). – Самара, 2024. – С. 171-172.

3. Hassani, S. Mathematical Physics: A Modern Introduction to Its Foundations / S. Hassani. – Springer-Verlag, 1999. – 1043 p.

4. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики : учеб. пособие / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 799 с.

5. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Наука, 1981. – 512 с.

6. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – 2-е изд. – М. : Наука, 1970. – 720 с.

7. Зон, Б. А. Лекции по интегральным уравнениям / Б. А. Зон. – М. : «Высшая школа», 2004. – 92 с.

8. Васильева, А. Б. Интегральные уравнения / А. Б. Васильева, Б. А. Зон. – 2-е изд., стереот. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 160 с.

9. Shampine, L. F. Vectorized Adaptive Quadrature in MATLAB / L. F. Shampine // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2008. – Vol. 211(2). – P. 131-140.

10. Shampine, L. F. Vectorized MATLAB Program for Quadrature in 2D. / L. F. Shampine // Applied Mathematics and Computation. – 2008. – Vol. 202(1). – P. 266-274.

11. Brent, R. Algorithms for Minimization Without Derivatives / R. Brent. – Prentice Hall, 1973. – 195 p.

12. Forsythe, G E. Computer Methods for Mathematical Computations / G. E. Forsythe, M. A. Malcolm, C. B. Moler. – Prentice Hall, 1976. – 259 p.

13. De Boor, C. A Practical Guide to Splines / C. de Boor. – Springer-Verlag, 2001. – 348 p.

14. Kurata, M. Design Considerations of Step Recovery Diodes with the Aid of Numerical Large-Signal Analysis / M. Kurata // IEEE Transactions on Electron Devices. – 1972. – Vol. 19(11). – P. 1207-1215.

Аналитическая модель малогабаритного зонда для измерений электромагнитного поля

А. А. Кононов, email: kononov@phys.vsu.ru
Г. К. Усков, email: uskov@phys.vsu.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе рассмотрен вопрос о малогабаритном зонде для измерения значений электромагнитного поля в ближней зоне излучающего устройства. Построена аналитическая модель, которая позволяет вычислить комплексную амплитуду принимаемого подобным зондом сигнала на основе данных об истинной величине исследуемого поля в точке расположения измеряющего устройства. Выведены основные расчётные соотношения, для применения которых достаточно знать относительно легко измеряемые характеристики зонда, что предоставляет возможность обходиться без построения его полной электродинамической модели. Рассмотрен простейший конкретный пример использования полученных результатов.*

Ключевые слова: *малогабаритный зонд, принцип взаимности, ближняя зона, измерение электромагнитного поля, диаграмма направленности.*

Введение

При проектировании радиотехнических устройств и систем, имеющих применение в задачах высокоскоростной беспроводной связи, радиолокации и пеленгации, в последнее время наблюдается повышение требований к точности соответствия параметров изготавливаемой аппаратуры соответствующим целевым значениям. В частности, увеличение интереса к исследованиям в области сверхширокополосных сигналов обуславливает необходимость выполнения в каждом отдельном случае определённых спецификаций в пределах всего заданного диапазона частот.

Не вызывает сомнений, что для проверки результатов теоретических исследований, численных моделирований и оптимизаций характеристик различных радиоэлектронных устройств весьма большое значение имеет разработка достаточно надежных и точных методик экспериментального определения значений векторов электромагнитного поля – в особенности таких, которые допускают возможность осуществления измерений на относительно близких расстояниях

© Кононов А. А., Усков Г. К., 2025

от источников излучения. При этом необходимо иметь в виду, что, согласно общим положениям математической теории дифракции [1], размещение того или иного физически реализуемого измерительного приспособления, например, в ближнем поле исследуемой антенны способно вносить изменения в картину пространственно-частотного распределения этого поля – за счёт вторичного излучения, создаваемого наводимыми на металлических частях измеряющего устройства токами и т. п. [2]. Более того, традиционные методы [3] предполагают, что для вычисления принятого рассматриваемым устройством сигнала необходимо выполнить построение той или иной электродинамической модели, существенным образом учитывающей структуру этого устройства, – а это обычно представляет задачу достаточно высокой сложности [4].

Ввиду вышеперечисленных обстоятельств ясна актуальность задачи разработки такой модели зонда для измерений электромагнитного поля, которая позволяла бы рассчитывать комплексные амплитуды принимаемых им токов и напряжений, но при этом обладала бы достаточно высокой общностью, чтобы ограничиваться сравнительно легко получаемыми характеристиками измеряющего устройства (что, естественно, может существенно расширить сферу применения).

Как будет показано в основном тексте работы, для построения модели, обладающей указанными свойствами, достаточно иметь в своём распоряжении сведения о таких параметрах зонда, как его диаграмма направленности (ДН), коэффициент полезного действия (КПД) и входное сопротивление. Заметим, что все эти величины относятся к наиболее общим характеристикам антенных устройств и, следовательно, допускают относительно доступное экспериментальное определение (методы их теоретического расчёта также в известной степени разработаны).

1. Построение модели

Основная идея заключается в использовании принципа взаимности [2, 3, 5], позволяющего, как известно, при расчёте принятого сигнала для сценариев радиосвязи в дальней зоне вовсе отвлечься от конкретики структуры антенны, оперируя только теми её основными характеристиками, которые были упомянуты во введении, а именно диаграммой направленности, коэффициентом полезного действия и входным сопротивлением (определёнными для случая работы в режиме передачи).

Предлагаемая методика подразумевает использование достаточно малогабаритного измерительного зонда – в расчёте на то, что в пределах

непосредственной близости к нему измеряемое поле окажется приблизительно постоянным, а значит, сходным по структуре с полем плоской волны, которая могла бы приходить издалека. Вследствие этого к подобному зонду могут быть применены (с соответствующими уточнениями, о которых подробно будет сказано далее) те же соотношения, что и для произвольной антенны, работающей в режиме приёма из дальней зоны.

Конкретизируем наше обсуждение: пусть ДН зонда (если сначала рассматривать его в режиме передачи) связана с излучаемым им полем посредством формулы

$$\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{tx}}(R,\Omega) = \dot{I}_{tx} \cdot \sqrt{Z_S \operatorname{Re} \dot{Z}_A} \cdot \sqrt{\frac{\eta}{4\pi}} \cdot \dot{\mathbf{D}}(\Omega) \cdot \frac{e^{-ikR}}{R}, \qquad (1)$$

где $\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{tx}}$ – комплексный вектор напряжённости электрического поля на рассматриваемой частоте ω;

R – расстояние от точки расположения антенны до точки наблюдения;

$\Omega = (\theta;\varphi)$ – совокупность угловых переменных сферической системы координат, определяющая направление излучения;

$\dot{I}_{tx}$ – комплексная амплитуда полного тока на входе антенны;

Z_S – волновое сопротивление среды распространения, в случае вакуума равное $\approx 120\pi$ *Ом*;

$\dot{Z}_A$ – входное комплексное сопротивление антенны в режиме передачи;

η – КПД, определяемый как отношение полной излучаемой мощности P_Σ к полной входной мощности в режиме передачи P_{in};

$\dot{\mathbf{D}}$ – векторная комплексная диаграмма направленности антенны;

$k = \omega/c$ – волновое число, соответствующее рабочей частоте ω (здесь c – электродинамическая постоянная, численно равная скорости света в вакууме).

Уравнение (1), в числе прочего, устраняет все неоднозначности в определении ДН: её фаза связана с фазой входного тока, а масштаб по абсолютной величине задаётся условием нормировки

$$\oint_{\Omega} \left|\dot{\mathbf{D}}(\Omega)\right|^2 d\Omega = 4\pi, \qquad (2)$$

которое следует из определений входной и излучаемой мощностей:

$$P_{in} = \frac{\left|\dot{I}_{tx}\right|^2 \operatorname{Re}\dot{Z}_A}{2}, \quad P_\Sigma = \oint\limits_\Omega \frac{1}{Z_s} \cdot \left|\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{rx}}\left(R,\Omega\right)\right|^2 \cdot R^2 d\Omega = \eta P_{in}. \qquad (3)$$

При таком определении, как известно, ток $\dot{I}_{rx}$ в подключенной к зонду нагрузке, характеризующейся комплексным сопротивлением $\dot{Z}_н$ (оно рассчитывается с помощью стандартных методов теории длинных линий [6]), даётся выражением

$$\dot{I}_{rx} = \frac{i\lambda}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\eta} \cdot \sqrt{\frac{\operatorname{Re}\dot{Z}_A}{Z_s}} \cdot \frac{\dot{\mathbf{E}}^{\mathbf{T}}_{\mathbf{rx}} \cdot \dot{\mathbf{D}}\left(\Omega\right)}{\dot{Z}_A + \dot{Z}_н}, \qquad (4)$$

где $\lambda = 2\pi/k$ – рабочая длина волны на частоте ω;

$\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{rx}}$ – напряжённость электрического поля приходящей волны, рассматриваемая как комплексный вектор-столбец, так что $\dot{\mathbf{E}}^{\mathbf{T}}_{\mathbf{rx}}$ является её транспонированной версией (строкой).

Формула (4) в терминах нормированных токов, напряжений и сопротивлений (а также с использованием несколько иной нормировки ДН) дана вместе с выводом в [5]; кроме того, она в том или ином виде приводится, например, в [2, 3, 7, 8]. В целом, это хорошо известное соотношение основано на принципе взаимности и, как уже говорилось, позволяет рассчитать принимаемый сигнал без непосредственного анализа распределения наводимых в поле приходящей волны токов по проводящим частям антенны и т. п.

В связи с вышеуказанным предположением о том, что размеры измерительного зонда являются достаточно малыми по сравнению с характерным расстоянием, на котором измеряемое им поле успевает измениться существенно, для такого зонда должно оставаться в силе выражение (4). Единственное отличие – входящая в (4) ДН подразумевается взятой по направлению на источник излучения, т. е. навстречу приходящей волне. В случае измерений в ближней зоне у поля в каждой конкретной точке нельзя, вообще говоря, выделить направление распространения в строгом смысле (поскольку локальная структура этого поля, разумеется, может отличаться от плоской волны). Однако оценку такого направления можно ввести на основе вещественного вектора Пойнтинга [9, 10], характеризующего локальное направление переноса энергии и равного

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2}\operatorname{Re}\left[\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{rx}}, \dot{\mathbf{H}}^*_{\mathbf{rx}}\right], \qquad (5)$$

где $\dot{\vec{H}}_{rx}$ – напряжённость магнитного поля приходящей волны, а квадратными скобками обозначена операция векторного произведения.

Учитывая, что направление на источник противоположно направлению распространения волны, получаем, что «обобщённое локальное направление на источник» характеризуется следующим единичным вектором:

$$\mathbf{e_{EH}} = \frac{-\mathrm{Re}\left[\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{rx}}, \dot{\mathbf{H}}^{*}_{\mathbf{rx}}\right]}{\left|\mathrm{Re}\left[\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{rx}}, \dot{\mathbf{H}}^{*}_{\mathbf{rx}}\right]\right|}. \qquad (6)$$

В сферической системе координат единичный вектор может быть представлен как

$$\mathbf{e_{EH}} = \sin\theta\cos\varphi\cdot\mathbf{e_x} + \sin\theta\sin\varphi\cdot\mathbf{e_y} + \cos\theta\cdot\mathbf{e_z}, \qquad (7)$$

отсюда находим, что определённое посредством (6) «обобщённое направление на источник» соответствует углам

$$\theta = \arccos\left(\mathbf{e}_{\mathbf{z}}^{\mathbf{T}}\cdot\mathbf{e_{EH}}\right), \quad \varphi = \arg\left(\mathbf{e}_{\mathbf{x}}^{\mathbf{T}}\cdot\mathbf{e_{EH}} + i\cdot\mathbf{e}_{\mathbf{y}}^{\mathbf{T}}\cdot\mathbf{e_{EH}}\right); \qquad (8)$$

именно эти значения определяют направление $\Omega = (\theta;\varphi)$, которое фигурирует в (4). Заметим, что для вычисления ДН $\dot{\vec{D}}(\Omega)$, скорее всего, потребуется использовать интерполяцию.

Подчеркнём ещё раз, что скалярные произведения векторов в (8) и, в особенности, в (4) вычисляются без сопряжения компонент одного из векторов: даже в (4), несмотря на комплексную природу векторов, всюду в виду имеется не эрмитово сопряжение (как это обычно бывает при скалярном перемножении комплексных векторов), а «буквальное» транспонирование.

Ещё одно удобство изложенной методики – в том, что под $\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{rx}}$ и $\dot{\mathbf{H}}_{\mathbf{rx}}$ понимаются (как и при пользовании выражением (4)) значения поля, какими они были бы в отсутствие принимающего устройства, так что не возникает необходимости исследовать, какие искажения оно вносит в это поле.

2. Пример применения полученных результатов

В качестве примера рассмотрим малогабаритный зонд в форме дипольного отрезка металлического провода с диаметром $d = 0.5$ *мм* и полной длиной $l = \lambda/10 \approx 4.28$ *мм* (на частоте $f = \omega/(2\pi) = 7$ *ГГц*), изображённый на рис. 1. Электродинамическое моделирование было

выполнено в среде CST Studio Suite, где источником измеряемого поля служила прямоугольная рупорная антенна, размещённая на расстоянии $L = 45\ мм$ от зонда. Совместное расположение зонда и антенны показано на рис. 2 (красные конусы на обоих рисунках соответствуют дискретным портам, использовавшимся в качестве источника и нагрузки при моделировании).

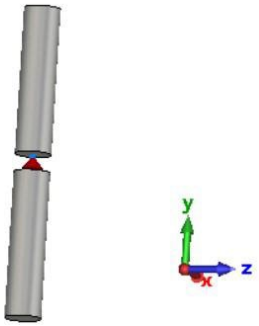


Рис. 1. Модель зонда в среде CST Studio Suite

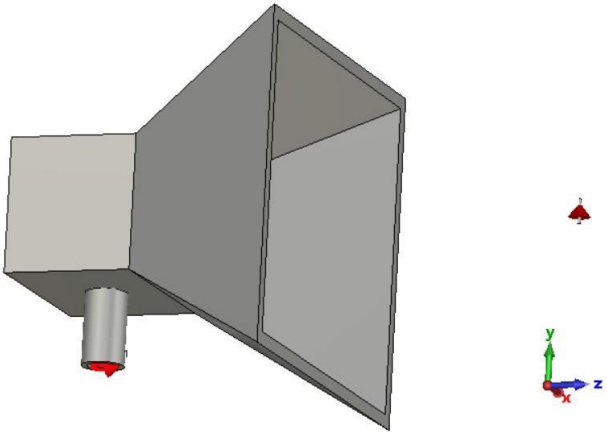


Рис. 2. Измерительный зонд рядом с рупорной антенной

Численное моделирование дало следующие результаты:

$\eta \approx 0.9987454$;

$\dot{Z}_A \approx 1.0404684 - 223.13765i\ Ом$;

$\dot{I}_{rx} \approx 0.0015446026 + 0.0018582257i\ A$;

векторы напряжённостей электромагнитного поля в точке измерения оказались равными

$$\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{rx}} = \begin{pmatrix} (7.0 - 6.8i)\cdot 10^{-6} \\ -315.47 + 158.64i \\ 9.2 + 0.543i \end{pmatrix} \frac{B}{м}; \quad \dot{\mathbf{H}}_{\mathbf{rx}} = \begin{pmatrix} 0.8207 - 0.4337i \\ (-2.5 - 3.5i)\cdot 10^{-9} \\ (1.3 + 2.0i)\cdot 10^{-8} \end{pmatrix} \frac{A}{м}. \qquad (9)$$

Согласно (6), вектор «локального направления на источник» равен

$$\mathbf{e}_{\mathbf{EH}} = 2.2\cdot 10^{-9}\cdot \mathbf{e}_{\mathbf{x}} - 0.22\cdot \mathbf{e}_{\mathbf{y}} - 0.99975\cdot \mathbf{e}_{\mathbf{z}}; \qquad (10)$$

это соответствует углам $\theta \approx 178.7°$ и $\varphi \approx 270.0°$. ДН зонда по данному направлению принимает значение

$$\dot{\mathbf{D}} = \begin{pmatrix} (-3.1 + 3.8i)\cdot 10^{-7} \\ 0.0555 + 1.2399i \\ -0.0012 - 0.0277i \end{pmatrix}, \qquad (11)$$

что в результате применения формулы (4) даёт для комплексной амплитуды принятого тока оценку в $\approx 0.00163155 + 0.00180396i\ A$.

Ошибки по модулю, амплитуде и фазе равны соответственно $\approx 0.66\,\%$, $\approx -2.39°$ и $\approx 4.24\,\%$. Таким образом, предлагаемая методика предоставляет результат с достаточно хорошей точностью (погрешности, кроме того, отчасти могут быть уменьшены при задании более мелкой сетки пространственной дискретизации для численного электродинамического моделирования).

Заключение

В работе последовательно изложено построение математической модели малогабаритного измерительного зонда, предназначенного для экспериментального определения электромагнитного поля, в том числе в ближней зоне некоторого излучающего радиотехнического устройства. Для применения полученных расчётных соотношений достаточно знать коэффициент полезного действия, комплексное входное сопротивление и диаграмму направленности зонда в режиме передачи, при этом электродинамическое исследование его структуры в режиме приёма не требуется. Для проверки качества функционирования предлагаемой методики рассмотрен конкретный пример, подтверждающий достаточно высокую точность определения принимаемого сигнала.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00891, https://rscf.ru/project/24-19-00891/.

Для выполнения численных расчетов в ходе верификации представленных в работе теоретических соотношений использовалось оборудование учебно-научного дизайн-центра проектирования радиоэлектронных систем СВЧ, терагерцового и оптического диапазонов на отечественной электронной компонентной базе ФГБОУ ВО «ВГУ» в рамках реализации федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности».

Список литературы

1. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики : учеб. пособие / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 798 с.

2. Айзенберг, Г. З. Антенны УКВ : в 2 т. / Г. З. Айзенберг, В. Г. Ямпольский, О. Н. Терёшин ; под ред. Г. З. Айзенберга. – М. : «Связь», 1977. – 384 с.

3. Наденeнко, С. И. Антенны / С. И. Наденeнко. – М. : Связьиздат, 1959. – 552 с.

4. Давыдов, А. Г. Моделирование ближнего поля зеркальной антенны и его измерений датчиком в виде электрического вибратора / А. Г. Давыдов, В. А. Калошин // Журнал радиоэлектроники. – 2004. – № 3. – С. 3.

5. Сазонов, Д. М. Антенны и устройства СВЧ / Д. М. Сазонов. – М. : Высш. шк., 1988. – 432 с.

6. Лебедев, И. В. Техника и приборы СВЧ / И. В. Лебедев ; под ред. Н. Д. Девяткова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Т. 1. – М. : Высш. шк., 1970. – 440 с.

7. Stutzman, W. Polarization in Electromagnetic Systems / W. Stutzman. – 2nd ed. – Artech House, 2018. – 378 p.

8. Mott, H. Polarization in Antennas and Radar / H. Mott. – Wiley, 1986. – 297 p.

9. Справочник по теоретическим основам радиоэлектроники / А. А. Барыбин [и др.] ; под ред. Б. Х. Кривицкого, В. Н. Дулина. – М. : «Энергия», 1977. – Т. 1. – 504 с.

10. Карлинер, М. М. Электродинамика СВЧ: Курс лекций / М. М. Карлинер ; Новосиб. гос. ун-т. – 2-е изд., испр. – Новосибирск, 2006. – 258 с.

Оптимизация маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях с учётом остаточного заряда батареи и качества канала связи

А. О. Мосолов, email: mosolov2000@gmail.com
А. Ю. Савинков, email: a.savinkov@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Предложен теоретический подход к маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях с учётом уровня заряда батареи и RSSI, позволяющий повысить энергоэффективность передачи данных и надёжность сети.*

Ключевые слова: *беспроводные сенсорные сети, маршрутизация, энергоэффективность, остаточный заряд батареи, RSSI.*

Введение

В современных системах интернета вещей и распределённого мониторинга, когда использование проводных каналов связи невозможно, мы можем использовать радиоканалы для передачи данных. Это актуально в транспортно-логистической инфраструктуре (железнодорожные узлы, складские комплексы), сельском хозяйстве (контроль состояния почвы и посевов) и экологическом мониторинге (наблюдение за состоянием лесов). При этом данные от множества удалённых датчиков передаются к одному концентратору, который может быть расположен удаленно от передающего модуля. Ситуацию осложняют ограниченная мощность передатчиков, невозможность установки больших или направленных антенн.

Проблема усугубляется тем, что питание таких устройств реализовано с помощью батарей или аккумуляторов, и их замена может быть невозможна из-за особенностей построения сетей. Для достижения максимально длительного срока службы нашей сети мы должны добиться как можно большей энергоэффективности – минимизации затрачиваемой энергии на передачу одного бита информации по радиоканалу, усреднённой по всем узлам.

Одно из решений заключается в организации ретрансляции сообщений через соседние узлы, что позволяет снизить энергозатраты даже с учётом дополнительных прыжков при передаче данных.

Однако для автоматического построения таких маршрутов необходим динамический протокол маршрутизации, учитывающий

© Мосолов А. О., Савинков А. Ю., 2025

не только расположение узлов по отношению друг к другу или качество связи (RSSI), но и остаток заряда батареи (BL) в каждом узле.

Одной из особенностей является возможность оптимизации нагрузки в сети для сокращения преждевременного выхода из строя отдельных узлов сети из-за разрядки батареи.

В данной статье предлагается теоретический подход к созданию протокола маршрутизации, учитывающего RSSI и уровень заряда батареи, что позволит повысить общую энергоэффективность и надёжность беспроводных сенсорных сетей.

1. Анализ существующих решений

Большинство классических протоколов маршрутизации (например, AODV, DSR) создавались в расчёте на поддержание надёжной связи и минимизацию задержек в сетях, где узлы соединяются напрямую с фиксированной позицией в пространстве и независимы от количества электроэнергии. Однако энергоэффективность в них зачастую не являлась приоритетом. Например, в протоколе AODV основной метрикой выбора маршрута является количество переходов между членами сети, что позволяло сократить задержки передачи данных, но не учитывало уровень заряда батареи узлов или энергетические затраты на радиопередачи. В итоге узлы, на которых падала большая часть нагрузки сети, быстро теряли заряд и выходили из строя, что грозило нарушением связности сети [1].

В беспроводных сенсорных сетях расходы электроэнергии на передачу данных – ключевой фактор, определяющий связность сети. При доставке сообщения от узла сети к концентратору общие затраты электроэнергии на такую передачу складываются из суммы энергозатрат для всех промежуточных ретрансляций:

$$Q = \sum_{i=1}^{N} P_i \cdot T_i , \qquad (1)$$

где

N – число ретрансляций на маршруте доставки сообщения,

P – мощность передатчика,

T – длительность передачи i -го ретранслятора.

Именно поэтому в беспроводных сетях применяются метрики, нацеленные на энергоэффективность. К таким метрикам относят:

– Остаточный заряд батареи (Battery Level, BL). Позволяет избегать преждевременного выхода узлов с малым уровнем заряда из строя.

– Расстояние или географические данные. Простой метод выбора ближайших узлов, однако не учитывает реальную мощность, необходимую в условиях помех или ухудшенного канала.
– RSSI (Received Signal Strength Indicator). Отражает реальное качество канала, позволяя регулировать мощность передачи, исходя из текущего уровня сигнала, и тем самым минимизировать затраты электроэнергии.

В рамках классических протоколов часто отсутствует механизм адаптации к текущему состоянию заряда батареи, поэтому узлы, находящиеся в выгодном расположении по отношению к концентратору, могут быстро расходовать ресурс и «выгорать», тем самым создавая эффект бутылочного горлышка. Аналогично не всегда учитывается реальное качество канала: узел географически мог и находиться ближе, но из-за помех или препятствий на пути сигнала требует более высокой мощности радиопередатчика. Это приводит к тому, что стандартные протоколы маршрутизации недостаточно адаптивны к оперативному состоянию сети, а их использование в условиях ограниченности питания узлов может приводить к нерациональному расходу энергии [2].

Таким образом, несмотря на свои преимущества в традиционных сетях, протоколы, похожие на AODV, оказываются неэффективными в условиях жёстких ограничений по энергопитанию. Они не могут адаптироваться к изменениям в состоянии батарей или ухудшению радиосигнала в сети [3].

2. Использование RSSI (Received Signal Strength Indicator)

RSSI – показатель силы сигнала на приёмнике, позволяющий выбрать оптимальную мощность передатчика для энергоэффективной передачи. В микроконтроллерах он рассчитывается аппаратно (обычно в дБм). RSSI пропорционален мощности сигнала, достигшего приёмника. При фиксированных параметрах модуля (чувствительности, частоте, полосе пропускания и т. д.) можно вычислить, какую мощность радиопередатчика необходимо выставить для обеспечения устойчивости связи при заданном пороге RSSI – минимальном значении, гарантирующем стабильность и правильность приема сигнала.

3. Использование Остаточного заряда батареи (Battery Level, BL)

В беспроводной сенсорной сети каждый узел работает от автономного источника питания – батареи или аккумулятора. Уровень заряда батареи (BL) показывает, насколько долго узел ещё сможет функционировать, передавая и ретранслируя данные. Использование BL в протоколе маршрутизации позволяет динамически изменять предпочтительность узлов в качестве ретрансляторов. Чем меньше заряд

батареи, тем выше «стоимость» использования данного узла, что способствует более равномерному распределению нагрузки по сети и увеличению общего времени её автономной работы [4].

Основное отрицательное событие – это разряд аккумулятора сенсорного узла. Очевидно, что время наступления этого события зависит от начальной емкости батареи и уровня энергопотребления, а энергопотребление, в свою очередь, является случайной величиной, на которую влияют:

- объем передаваемых данных;
- интенсивность взаимодействия устройств;
- используемый радиочастотный спектр;
- геометрический размер кластера;
- плотность расположения сенсорных устройств [5];
- количество хопов (прыжков) при передаче;
- распределение сенсорных устройств в пространстве;
- используемые протоколы маршрутизации;
- другие параметры и алгоритмы работы беспроводной сенсорной сети и сенсорных устройств.

Для иллюстрации важности использования данной метрики рассмотрим следующий пример.

На рис. 1 представлена сеть, узел A начинает передачу в сторону концентратора V, используя в качестве ретрансляторов узлы B и C.

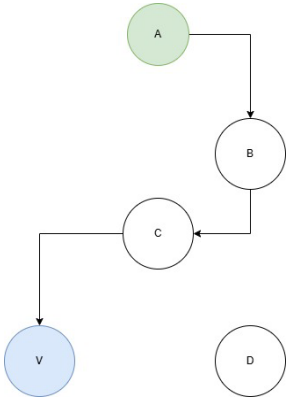


Рис. 1. Работа алгоритма с использованием узла C

Узел C в качестве ретранслятора также может использовать и узел D, что при частой оправке пакетов может привести к разрядке батареи узла C и потери связности сети.

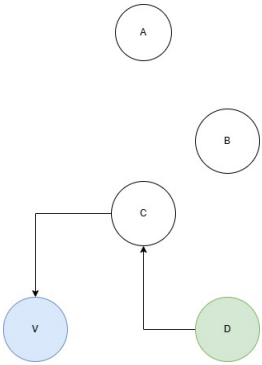


Рис. 2. Работа алгоритма с использованием узла D

Поэтому, в случае снижения заряда батареи узла C, более выгодным маршрутом может стать тот, который при изначальном использовании одной лишь метрики RSSI не был целесообразным в плане энергоэффективности (как, например, на рис. 3).

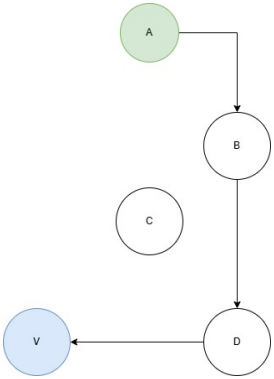


Рис. 3. Работа алгоритма с использованием метрики остаточного заряда батареи

Таким образом, мы можем вывести примерную формулу расчёта стоимости маршрута, используя выведенные нами метрики:

$$\cos t = \alpha \cdot \frac{1}{BL} + \beta \cdot p_{tx}, \qquad (2)$$

Где BL – остаточный заряд батареи узла, p – требуемая мощность передачи, которая зависит от текущего и минимально допустимого

уровня RSSI, α, β – весовые коэффициенты, задающие приоритет каждой метрики.

Заключение

Предложен алгоритм маршрутизации для беспроводных сенсорных сетей, учитывающий специфику работы устройств с автономным питанием. В качестве критерия оптимальности маршрута предложено использование функции, минимизирующей суммарные энергозатраты на доставку сообщения, учитывающей такие параметры, как остаточный заряд батареи и уровень принимаемого сигнала (RSSI). Реализована возможность автоматической корректировки маршрутов при изменении состояния сети, что позволяет динамически адаптироваться к условиям, например, при появлении новых узлов или изменении качества канала.

Предложенный алгоритм был обоснован теоретически и представлен в виде формул, обеспечивающих баланс между энергоэффективностью и стабильностью связи.

Список литературы

1. Дибров, М. В. Сети и телекоммуникации. Маршрутизация в IP-сетях : учебник и практикум для вузов ; в 2 ч. / М. В. Дибров. – М. : Юрайт, 2023. – Ч. 1. – 333 с.
2. Ушаков, Ю. А. Исследование работы беспроводных интернет-устройств с различными протоколами ячеистой маршрутизации / Ю. А. Ушаков, М. В. Ушакова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – № 14. – С. 686-691.
3. Бузюков, Л. Б. Проблемы построения беспроводных сенсорных сетей / Л. Б. Бузюков, Д. В. Окунева, А. И. Парамонов // Труды учебных заведений связи. – 2017. – № 1. – С. 5-12.
4. Исследование моделей связности сенсорных сетей / Т. Н. Астахова [и др.] // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 5. – С. 38-50.
5. Бузюков, Л. Б. Анализ связности самоорганизующейся беспроводной сети при различном распределении узлов по территории / Л. Б. Бузюков, Д. В. Окунева, А. И. Парамонов // Электросвязь. – 2016. – № 9. – С. 58-62.

Моделирование трассировки распространения радиоволн коротковолнового диапазона в простой двумерной изотропной модели ионосферы

И. В. Пешков, email: ilvpeshkov@gmail.com

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»

Аннотация. *В работе представлены результаты моделирования алгоритма трассировки радиоволн коротковолнового диапазона в ионосфере после пространственной обработки цифровой антенной решёткой.*

Ключевые слова: *распространение радиоволн, трассировка лучей, ионосфера, цифровая антенная решётка.*

Введение

Моделирование переноса энергии электромагнитных волн высокой частоты – достаточно сложный процесс, который приобрел за последнее время широчайшее распространение, облегчая предварительную оценку параметров сетей, а также разрабатываемых устройств. К таким перспективным и актуальным в настоящее время приборам можно отнести цифровые антенные решетки, благодаря их способности к повышению помехозащищённости. Однако их применимость в области коротких волн недостаточно изучена. Поэтому в работе предлагается способ математического моделирования цифровой пространственной обработки сигналов на основе трассировки лучей в слоях ионосферы.

1. Разработка моделей

Передача телекоммуникационных сигналов в слоях ионосферы обладает несколькими преимуществами, основное из которых заключается в достижении приёмника, расположенного в сотнях километров от передатчика, как показано на рис. 1.

© Пешков И. В., 2025

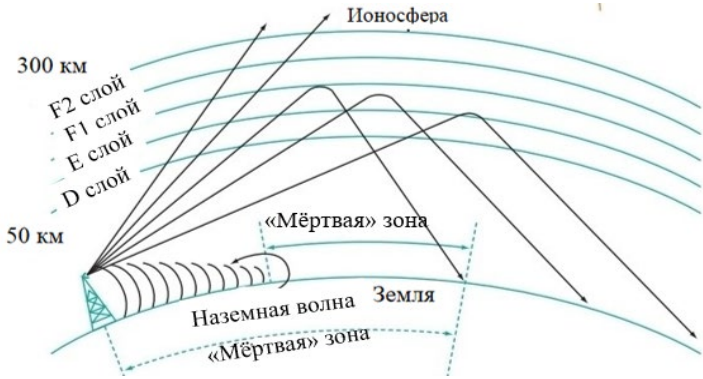


Рис. 1. Распространение в ионосфере

Однако такой процесс сопряжён с некоторыми трудностями, такими как: высокая степень затухания; переотражения от земной поверхности и слоёв атмосферы; суточные колебания коэффициента рефракции; зависимость от погодных условий; замирания.

В качестве одного из способов преодоления и решения упомянутых проблем предлагается использование цифровых антенных решёток. На начальной этапе исследования пространственной цифровой обработки сигналов после прохождения слоёв ионосферы адекватным является применение математического моделирования как вспомогательного инструмента предварительной оценки.

В качестве среды распространения радиоволн рассмотрим двумерную изотропную модель ионосферы, где профиль электронной концентрации зависит только от высоты:

$$N_e(h) = N_{\text{макс}} e^{0.5\left[1-\frac{h-h_0}{\Delta h}-e^{-\frac{h-h_0}{\Delta h}}\right]}. \quad (1)$$

Здесь $h_0 = 300$ км – высота максимума электронной концентрации на высотах ионосферы, $\Delta h_0 = 220$ км – полутолщина слоя, $N_{\text{макс}} = 10^6$ см$^{-3}$ – значение электронной концентрации в максимуме слоя [1].

Показатель преломления ионосферы в зависимости от высоты, частоты радиоволны и электронной концентрации определяется следующим образом [2]:

$$n = \sqrt{1-\left(\frac{\sqrt{80.0 * N_e(h)}}{f}\right)^2}. \quad (2)$$

Здесь f – частота радиоволны, см. рис. 2.

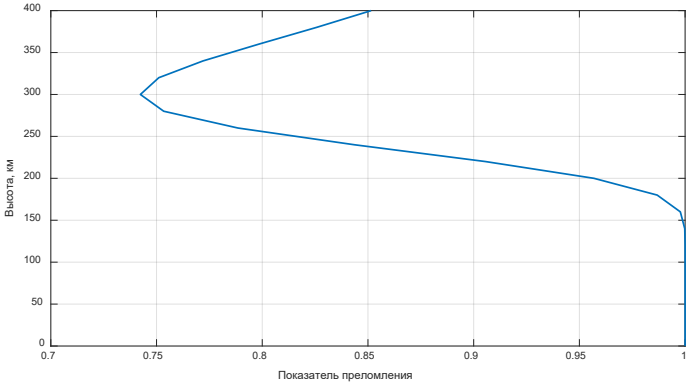


Рис. 2. Показатель преломления на частоте 12 МГц

Для моделирования распространения радиолучей КВ-диапазона в ионосфере в работе используется алгоритм трассировки лучей. Данный механизм позволяет оценить такие показатели, как: длина трассы каждого конкретного радиолуча, число этих лучей, которые оказываются в раскрыве приёмной антенной решётки, в нашем случае цифровой, для заданных условий атмосферы, а также их взаимные фазы и амплитуды. Исходя из этих соображений, можно построить адекватную картину, которая складывается в тот и или иной момент времени. Для математического описания радиолучей в ионосфере используется следующее выражение Гамильтона [3]:

$$H(x,y,h,t,k_x,k_y,k_h,\omega) = \mathrm{Re}\left\{\frac{1}{2}\left[\frac{c^2}{\omega^2}\left({k_x}^2+{k_y}^2+{k_h}^2\right)-n^2\right]\right\}. \qquad (3)$$

2. Моделирование простой ионосферы

Проведем моделирование электромагнитных лучей в слоях ионосферы, математическое описание которой приведено в формулах (1-2). В качестве приёмной антенной решётки используется кольцевая конфигурация, число элементов равно восьми с полуволновым межэлементным расстоянием. Центральная частота волны равна 12 МГц. Далее на рис. 3 приведены пять лучей, которые отличаются только начальным значением угла места от 0° до 7° на передатчике.

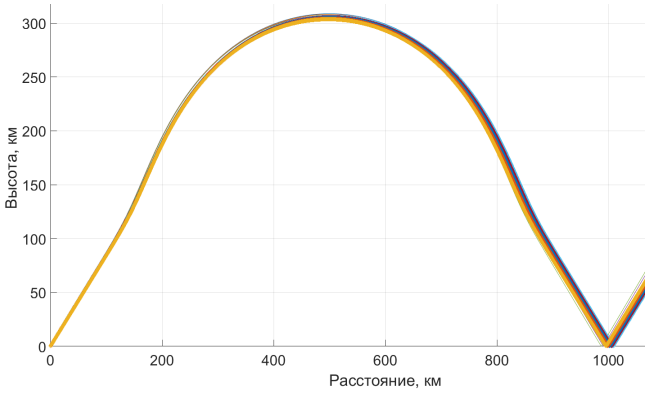


Рис. 3. Лучи в слоях ионосферы на частотах 11,95-12,05 МГц

Из рис. 3 видно, что лучи имеют заметную разность хода в зависимости от частоты. Для пространственной обработки радиосигналов с таким типом распространения в работе используется схема цифровой антенной решётки, которая показана на рис. 4 [4]. Схема из рис. 4 осуществляет цифровую пространственную обработку в выбранных нескольких частотных поддиапазонах.

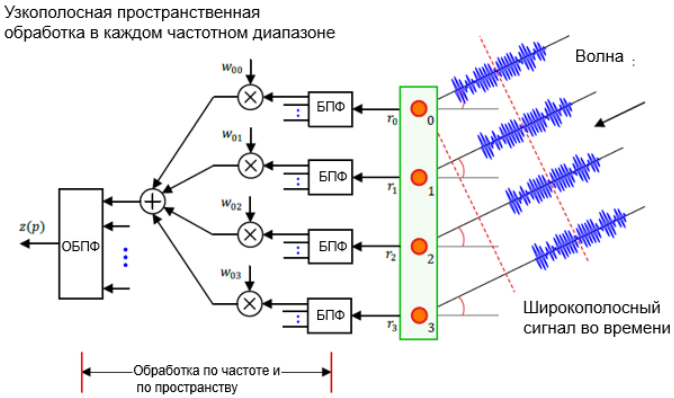


Рис. 4. Широкополосная и пространственная обработка

Для оценки угловых координат использовался алгоритм MUSIC. Для формирования диаграммы направленности использовался алгоритм Минимум дисперсии (MVDR) [5]. Для начала необходимо найти лучи, которые попадают в раскрыв антенной решётки. Для решения данной

задачи в работе используется алгоритм перебора, т. е. выбор тех (или того) лучей из всех возможных, которые удовлетворяют определенному критерию. В рассматриваемом случае в качестве положительного условия принятия является расположение луча в пределах длины волны от вертикальной координаты цифровой антенной решётки. Пример такой ситуации показан на рис. 5.

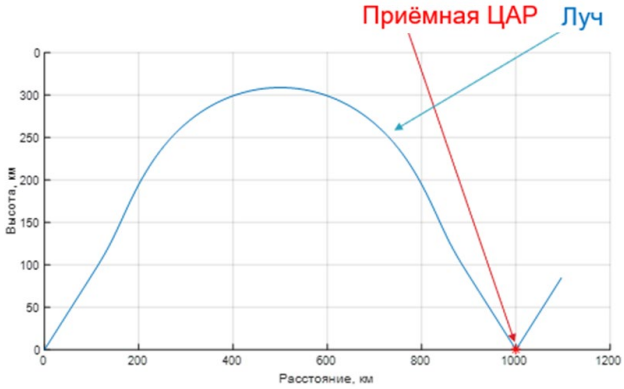
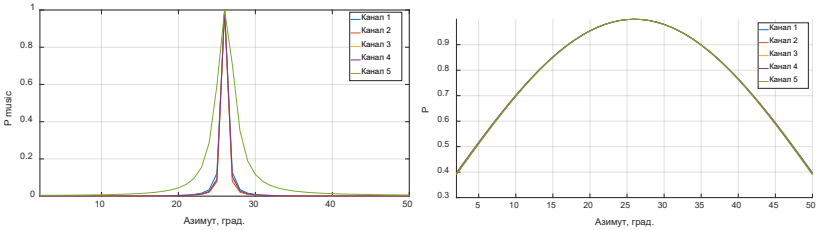


Рис. 5. Совпадение луча и цифровой антенной решётки

После того, как найдены луч(и), необходимо задать их взаимные фазы и амплитуды на антенных элементах в соответствии с геометрией антенной решётки, разности общей пройденной дистанции, а также величиной потерь.

На рис. 6 показаны пространственные характеристики после приёма сигналов, прошедших через модель ионосферы, приведённую на рис. 2, 3.



а б

Рис. 6. Пространственные псевдоспектры (а) и сформированные диаграммы направленности для пяти частотных каналов (б)

На рис. 6(а) показаны псевдоспектры для диапазона от 11,95 до 12,05 МГц, который разбит на равные части. Также на рис. 6(б) изображены сформированные диаграммы направленности, соответствующие данным поддиапазонам.

Заключение

В работе продемонстрирована возможность математического моделирования цифровой пространственной обработки радиосигналов КВ-диапазона после ионосферного распространения.

Список литературы

1. Применение прямого вариационного метода поиска верхних и нижних лучей в задаче расчета КВ-радиотрасс в ионосфере / И. А. Носиков [и др.] // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике : Труды XV Конференции молодых ученых, Иркутск, 11–16 сентября 2017 года. – Иркутск : Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, 2017. – С. 129-131.
2. Носиков, И. А. Прямой вариационный метод для расчета траекторных характеристик КВ радиотрасс в ионосфере : дис. на соискание учёной степени канд. физ-мат. наук : 01.04.03 : защищена 28.05.2021 : утв. 28.10.2021 / Носиков Игорь Анатольевич. – Калининград : 2021. – 114 с.
3. Бова, Ю. И. Математическое моделирование распространения частотно-модулированных электромагнитных волн в ионосфере для задач радиосвязи / Ю. И. Бова, А. С. Крюковский, Д. С. Лукин // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12, № 12. – С. 22-32.
4. An array virtual extension method for power equipment acoustic emission direction of arrival estimation based on high-order cumulants / N. Zhou [et al.] // High Voltage. – 2020. – vol. 6, № 1 – PP. 95-105.
5. Нечаев, Ю. Б. Исследование цифрового диаграммообразования для оптимального помехо- и шумоподавления в антенных решетках различной формы с направленными излучателями / Ю. Б. Нечаев, И. В. Пешков // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2022. – Т. 25, № 2. – С. 73-82.

Перспективы применения технологий радиофотоники в автоматизированных системах управления

С. Н. Разиньков, email: razinkovsergey@rambler.ru [1]
М. В. Кныш, email: mariku2713@mail.ru [2]
О. Э. Разинькова, email: olgarazinkovaic@icloud.com [1]

[1] Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)
[2] Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны имени Маршала Советского Союза Л. А. Говорова

Аннотация. *Определены перспективы применения технологий радиофотоники для информационного обмена и обработки информации в автоматизированных системах управления. Представлен перечень задач, результативность выполнения которых подлежит улучшению, и выполнен прогноз достижимых тактико-технических характеристик устройств передачи-приема и обработки информации за счет внедрения технологий радиофотоники.*

Ключевые слова: *автоматизированная система управления, информационно-телекоммуникационная сеть, объект информатизации, технологии радиофотоники, оптические элементы и сигналы.*

Введение

Повышение требований к интенсивности информационного обмена и оперативности принимаемых качественных решений по управлению сложными организационно-техническими структурами обусловливает необходимость поиска эффективных способов доведения и обработки информации. Один из подходов к решению данной задачи базируется на применении технологий радиофотоники [1], в соответствии с которым при формировании, передаче-приеме и анализе информационных процессов реализуется их взаимодействие с оптическими сигналами. При этом, вследствие малых массогабаритных характеристик [2] и энергоемкости оптических элементов, обеспечиваются миниатюризация и сокращение энергопотребления [1, 2] компонентов информационно-телекоммуникационных сетей и объектов информатизации.

Цель работы – определение перспектив применения технологий фотоники в автоматизированных системах управления.

© Разиньков С. Н., Кныш М. В., Разинькова О. Э., 2025

1. Основные задачи совершенствования автоматизированных систем управления с применением технологий радиофотоники

На основе анализа целевых функций автоматизированных систем управления и показателей результативности их достижения установлены факты неполного соответствия [3] тактико-технических характеристик предъявляемым требованиям. К числу существенных проявлений таких несоответствий целесообразно отнести следующие:

– дальность передачи-приема информации, ограниченная ввиду наличия предельных уровней излучаемой мощности [1, 3] и затухания сигналов на трассах распространения [3, 4], не позволяет выполнить широкий охват области и достичь полноты информационного обмена, что создает дефицит ресурса системы для удовлетворения потребностей пользователей;

– жесткие условия электромагнитной совместимости компактно расположенных устройств передачи-приема информации исключают возможности реализации наилучших операционных свойств каждого компонента автоматизированной системы управления; ограничения на массогабаритные характеристики и энергопотребление аппаратуры при отсутствии технических решений по миниатюризации и сокращению энергоемкости затрудняют создание многофункциональных комплексов с освоением новых диапазонов частот и развертывание информационно-телекоммуникационных сетей;

– регламент вычислительных ресурсов объектов информатизации ограничивает эффективность информационно-управляющих устройств;

– низкие уровни энергетической и структурной скрытности [5] информационных процессов [1] создают предпосылки для проявления демаскирующих признаков радиоэлектронных средств [1, 5], позволяя выявлять уязвимости для деструктивных воздействий [3, 5];

– меры защиты от непреднамеренных и организованных помех с априори неизвестными и адаптивно изменяющимися в различных вариантах проявления параметрами выступают причинами нарушений режимов функционирования и отказов аппаратуры, что исключает устойчивость и результативность информационного обмена.

Проявление представленных несоответствий усугубляется за счет актуализации новых исследований, направленных на увеличение доли роботизированных комплексов и развертывание глобальных сетевых структур с централизованным способом координации действий, выполняемых по единому логико-временному сценарию, при наличии функций автономной работы отдельных компонентов.

Внедрение технологий радиофотоники [1, 3] в автоматизированных системах управления выполняется для достижения следующих целей:

– миниатюризация компонентов и сокращение энергопотребления аппаратуры;

– интеграция элементов информационно-телекоммуникационных сетей и объектов информатизации на единой базе для достижения их высокой функциональной надежности и унификации;

– повышение скорости передачи больших массивов информации и быстродействия функциональных устройств при одновременном снижении уровней энергии управляющих сигналов.

2. Направления реализации технологий фотоники при разработке автоматизированных систем управления

Технологии радиофотоники базируются на явлениях, связанных с распространением света, его преобразованием и генерированием в волноводных структурах на основе тонких диэлектрических и полупроводниковых слоев. В волноводных (волоконных или планарных) оптических элементах реализуются операции генерирования, усиления, модуляции и детектирования, запись и отображение (воспроизведение) оптических сигналов.

Направлениями реализации этих технологий в интересах развития автоматизированных систем управления с использованием технологий радиофотоники являются:

– увеличение объема и дальности передачи-приема информации по каналам информационно-телекоммуникационных сетей;

– обеспечение сверхскоростного информационного обмена;

– повышение помехоустойчивости линий доведения информации;

– наращивание быстродействия вычислительных комплексов при обработке информации;

– построение оптических вычислителей и устройств фотонной логики;

– достижение сверхбыстродействия функциональных элементов;

– интеграция оптических устройств на единой основе;

– миниатюризация и снижение энергопотребления изделий, уменьшение энергии управляющих сигналов.

В интересах увеличения объема и дальности передачи-приема информации по каналам информационно-телекоммуникационных сетей предлагаются следующие технические решения:

– построение приемной аппаратуры с волоконными, планарными волноводными оптическими элементами и устройствами усиления и детектирования оптических сигналов;

– применение в магнитооптических устройствах волноводов на основе иттрий-железо-галлиевого граната, а в изделиях акустооптики и акустооптоэлектроники – диффузионных волноводов на базе ниобата

и танталата лития с удельными коэффициентами потерь не более 1 дБ/см.

Реализация технологии позволит развернуть сети передачи данных со скоростью свыше 0,1 Мбит/с на дальность до 10 км.

Сверхскоростной информационный обмен обеспечивается за счет создания волоконно-оптических линий связи для передачи оптических сигналов на расстояния 0,05…5 км. Базовыми компонентами систем для сверхскоростной передачи информации являются оптические модули передатчиков и приемников сигналов диапазона сверхвысоких частот, оборудование для передачи-приема сигналов радиочастотного спектра по волоконным линиям и волоконно-оптические линии задержки сигналов. Реализация технологии позволит передавать информацию со скоростью от 100 Мбит/с до 1 Тбит/с. Информационный обмен со скоростью 1 Гбит/с при удалении абонентов (средств передачи-приема) до 100 м будет обеспечен при спектральной плотности мощности излучения 10^{-2} мВт/МГц. Передача информации на дальность 1…2 км может выполняться со скоростью 15…20 Мбит/с при спектральной плотности мощности излучения 10^{-3} мВт/МГц. Снижение спектральной плотности мощности излучения до 10^{-4} мВт/МГц позволит сохранить темп информационного обмена не ниже 1 Мбит/с.

Техническую основу для повышения помехоустойчивости линий передачи-приема информации составляют устройства, построенные на базе волоконных или планарных волноводных оптических элементов.

Быстродействие вычислительных комплексов наращивается за счет использования оптических гребенок для обработки светового потока с частотно-временным и пространственным мультиплексированием [2]. Реализация технологии позволит выполнять передачу информации по волоконно-оптическим линиям со скоростью до 1 Тбит/с.

Оптические вычислители реализуются в виде цифровых устройств обработки двоичных данных с использованием светодиодов и лазеров без взаимных преобразований оптических и электрических сигналов. В основе построения логических элементов лежат явления интерференции и нелинейных преобразований сигналов в резонаторах и волоконных конструкциях. Оптические процессоры эффективно применяются при выполнении функций с высокими требованиями по распараллеливанию вычислений при выполнении матричных и тензорных операций, что позволяет снизить потери энергии в оптико-электронных приборах на 25…30 % и обусловливает повышение скорости передачи информации в оптико-электронных повторителях.

Построение устройств фотонной логики, выполняющих операции по преобразованию множества входных логических сигналов в выходной

логический сигнал путем выполнения битовых операций, и оптических резонаторов для повышения уровня энергии в вычислительной системе осуществляется на основе волноводных (волоконных или планарных) оптических элементов. Реализация технологии обеспечит создание квантовых компьютеров, суперкомпьютеров, микрочипов со скоростями передачи информации до 1 Тбит/с.

Сверхбыстродействие функциональных элементов (при времени реакции не более 10 фс) может быть достигнуто за счет построения оптических устройств управления сигналом на базе интегральной и волоконной оптики с кристаллическими и плазменными волноводами.

Интеграция оптических элементов на единой основе базируется на планарной технологии с объединением в объеме чипа.

Миниатюризация и снижение энергопотребления достигаются при использовании волноводных структур в виде полупроводниковых и диэлектрических слоев, интегральных фотоприемников для полосковых волноводов шириной до 2 мкм.

Для уменьшения энергии управляющих сигналов (до 1…5 фДж) волноводные и волоконные усилители строятся на базе:

– регулярных оптических волноводов с усиливающими средами, характеризуемыми удельными коэффициентами потерь менее 0,1 дБ/см;

– гофрированных и брэгговских волноводов [1, 2] с модуляцией показателей преломления в продольном направлении для электро-, магнито- и акустооптических устройств управления в планарных и полосковых волноводах.

Заключение

На основе анализа тенденций развития автоматизированных систем управления определены перспективы и области применения технологий радиофотоники для улучшения информационного обмена. Выполнен прогноз тактико-технических характеристик устройств передачи-приема и обработки информации за счет использования в них технических решений на базе радиофотоники.

Список литературы

1. Кваснов, А. В. Интеллектуальная обработка радиолокационной информации / А. В. Кваснов. – СПб. : СПбГПТУ Петра Великого, 2021. – 352 с.

2. Реутов, А. П. Волоконно-оптические системы для мультисервисных сетей абонентского доступа / А. П. Реутов, М. Е. Белкин // Наукоемкие технологии. – 2004. – № 12. – С. 21-26.

3. Обоснование путей построения и оценка эффективности применения пространственно-распределенной системы информацион-

ных сенсоров для мониторинга обстановки / А. В. Зюзин [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 600-609.

4. Осипов, О. В. Электродинамика и распространение радиоволн / О. В. Осипов, Д. П. Табаков, С. В. Морозов. – Самара : ИНУЛ ПГУТИ, 2021. – 296 с.

5. Перунов, Ю. М. Методы и средства радиоэлектронной борьбы / Ю. М. Перунов, А. И. Куприянов. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 376 с.

Математические и статистические методы обработки сигналов ЭЭГ, применяемые в компьютерном анализе

А. А. Резниченко, email: andrei.reznichencko2017@yandex.ru [1]
Д. В. Журавлёв, email: ddom1@yandex.ru[1]

[1] Воронежский государственный технический университет (ВГТУ)

Аннотация. *В данной работе рассмотрены основные математические методы обработки сигналов ЭЭГ, применяемые в компьютерном анализе. Выявлены основные достоинства и недостатки рассмотренных методов.*

Ключевые слова: *спектральный анализ, метод главных компонент, корреляционный анализ, линейный дискриминантный анализ.*

Введение

В основе анализа сигналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) лежит применение различных математических методов, которые, в свою очередь, используются в компьютерных технологиях для извлечения полезной информации из полученных сигналов. Проведение электроэнцефалографических исследований необходимо для: получения наиболее точной информации о состоянии головного мозга, предоставления врачам полной картины для диагностики предполагаемого заболевания, обеспечения прогресса в развитии технологий нейрокомпьютерных интерфейсов.

Существуют четыре основных метода анализа ЭЭГ-сигналов, в соответствии с целями исследования и формой результатов, которые исследователь желает получить: временные, частотные, частотно-временные, нелинейные. Получаемые результаты помогают решить существующие проблемы и служат ориентиром для будущих исследований.

Количественный анализ и картирование ЭЭГ-сигналов дает возможность внедрить с использованием компьютерных систем математические методы анализа как в научно-исследовательскую, так и в клинико-практическую область. С помощью математических методов можно составить наиболее полную картину отдельных составляющих ЭЭГ человека. Большое распространение получили спектральный анализ, корреляционный анализ, метод главных компонент и линейный дискриминантный анализ.

© Резниченко А. А., Журавлёв Д. В., 2025

1. Спектральный анализ ЭЭГ-сигналов

Спектральный анализ ЭЭГ – метод математического анализа, который осуществляет количественную оценку частотных диапазонов. На рис. 1 представлен пример спектрального анализа сигнала ЭЭГ.

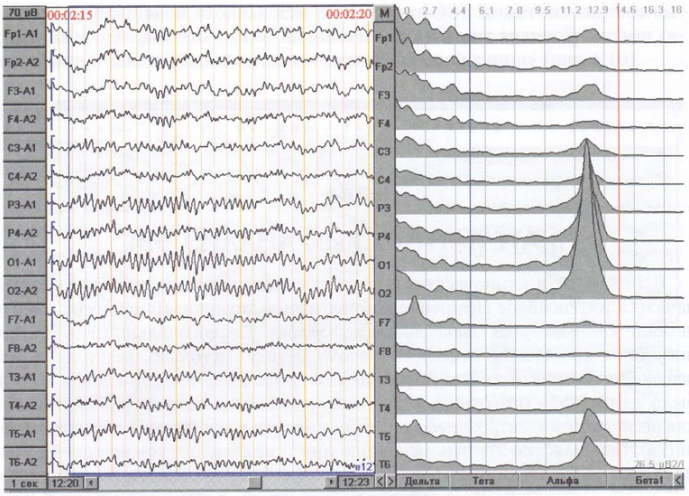


Рис. 1. Спектральный анализ сигнала ЭЭГ

В левой части рисунка представлен непрерывный сигнал ЭЭГ, а в правой – спектральная плотность мощности. Эпоха анализа (интервал времени, в котором проводилось измерение параметров сигнала ЭЭГ) была взята длительностью 5 с. Пик мощности представлен на частоте 12 Гц. Каждый всплеск на электроэнцефалограмме имеет свои количественные параметры: период, который можно определить по расстоянию между двумя соседними пиковыми значениями амплитуд волны ЭЭГ (он выражается секундах), частоту, которая обратно пропорциональна периоду колебаний, выраженную в Гц, амплитуду колебаний мозговых волн, выраженную в мкВ. Наиболее распространенный и информативный вариант построения спектра ЭЭГ-сигнала – это построение спектра мощности. Спектр мощности сигнала ЭЭГ математически получается за счет возведения в квадрат амплитуды волны сигнала ЭЭГ, который привязан к эпохе волны. Значения мощности принято выражать в мкВ^2 или мкВ^2/Гц. В первом случае, таким образом, результаты отражают суммарную мощность какого-либо диапазона, а во втором они привязаны к конкретным значениям частот [1].

2. Корреляционный анализ ЭЭГ-сигналов

Корреляционный анализ ЭЭГ – тип математического анализа, с помощью которого изучаются связи между изменениями биопотенциалов в пределах одного или нескольких сигналов ЭЭГ. Корреляционный анализ подразделяется на два варианта: автокорреляционный анализ и кросскорреляционный анализ.

Автокорреляционный анализ – тип математического анализа ЭЭГ-сигналов, с помощью которого можно провести оценку устойчивости амплитудно-частотных параметров сигнала ЭЭГ. Автокорреляционный анализ представлен на рис. 2.

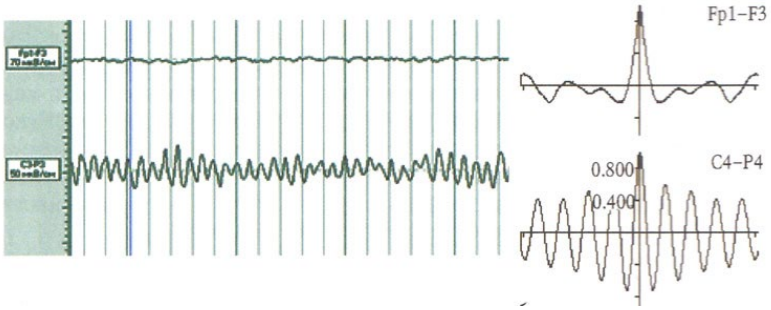


Рис. 2. Автокорреляционный анализ

На рис. 2 слева изображен непрерывный сигнал ЭЭГ (альфа-ритм), справа представлен автокорреляционный анализ этого ЭЭГ-сигнала в выбранном отведении.

Говоря простым языком, с помощью автокорреляционного анализа проводится сравнение друг с другом двух отрезков сигнала ЭЭГ в выбранном отведении. Если результатом данного сравнения является полное сходство отрезков, то коэффициент автокорреляции принимает значение, равное 1. В противном случае, значение функции автокорреляции будет стремиться к нулю. При увеличении смещения сравниваемых отрезков ЭЭГ-сигнала функция автокорреляции будет принимать затухающий характер. Такой тип автокорреляционной функции будет соответствовать квазипериодическим сигналам, таким как альфа-ритм ЭЭГ.

Автокорреляционный анализ позволяет оценить следующие параметры:

– интервал корреляции – временной интервал, в течение которого наблюдается полное затухание значения корреляционной функции;

– декремент затухания – величину, являющуюся мерой устойчивости ритмической составляющей сигнала ЭЭГ;
– средний период колебаний, который характеризует периодическую составляющую с максимальной амплитудой [2].

Кросскорреляционный анализ – тип математического анализа ЭЭГ-сигналов, с помощью которого можно оценить схожесть процессов в двух рассматриваемых отведениях. Основной количественный показатель данного типа анализа – это коэффициент кросс-корреляции. Значение коэффициента кросс-корреляции варьируется от 1 до -1. Значение 1 соответствует полному совпадению сигналов, а значение -1 соответствует совпадению сигналов в противофазе [3].

Следует отметить, что корреляционный анализ может быть применим для поиска смеси сигнал/шум. Именно в таком соотношении происходит регистрация сигнала ЭЭГ с электродов, расположенных в разных точках на голове человека. Также он может быть применим для построения топограмм, выделения среди сигналов ЭЭГ преобладающих ритмов (альфа, бетта, гамма и т.д.).

3. Метод главных компонент для анализа ЭЭГ-сигналов

Метод главных компонент – математический метод, осуществляющий преобразование, которое отображает данные из имеющегося огромного пространства в новой системе координат с меньшей размерностью без потери необходимой для исследования информации. Размерность представляет собой число независимых компонент, которые необходимы для идентификации точки пространства [4]. На рис. 3 представлена схема работы метода главных компонент.

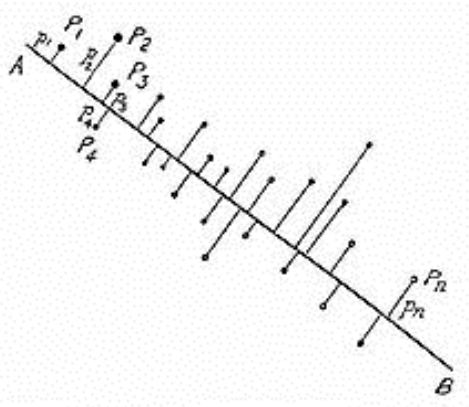


Рис. 3. Схема работы метода главных компонент

Множество точек P_i находятся от прямой AB на расстояниях, равных p_i. Основная идея метода главных компонент заключается в следующем: необходимо расположить прямую AB таким образом, чтобы сумма p_i^2 минимальной. Значение величины p_i^2 представляет суммарное расстояние от каждой точки до прямой AB. В рамках анализа сигналов ЭЭГ данный метод применяется для удаления шума и выделения четкого полезного сигнала. На рис. 4 представлен сигнал ЭЭГ до обработки и после однократной обработки.

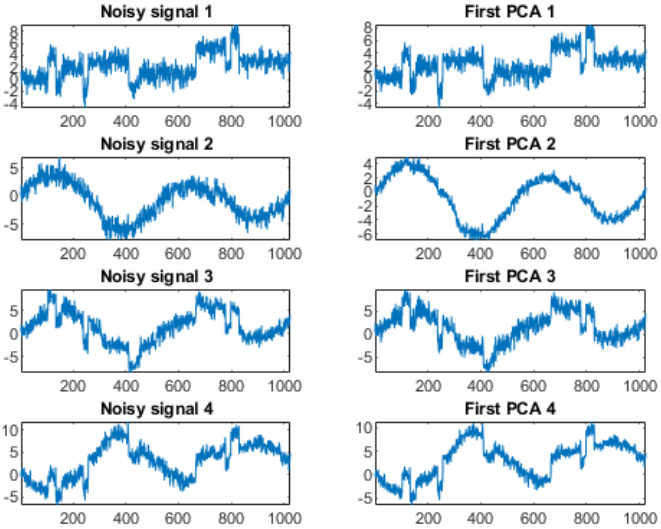


Рис. 4. Сигнал ЭЭГ до обработки и после однократной обработки методом главных компонент

На рис. 5 представлен сигнал ЭЭГ до обработки и после двукратной обработки.

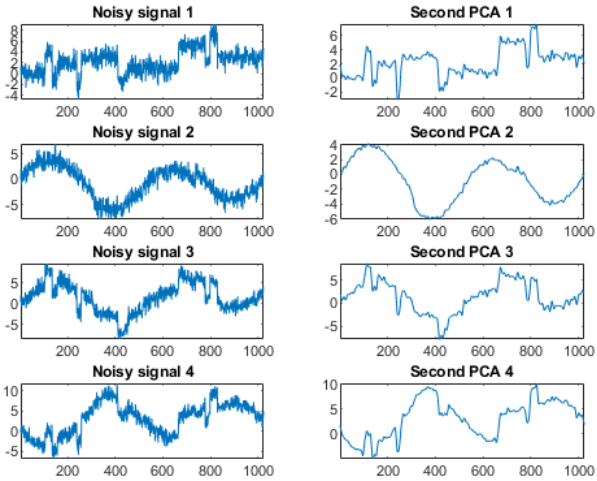


Рис. 5. Сигнал ЭЭГ до обработки и после двукратной обработки методом главных компонент

В обоих случаях сначала представлена смесь сигнала с шумом, затем очищенный от шума сигнал.

В качестве главных преимуществ следует отметить: снижение размерности, есть возможность оценки мгновенных значений частот, амплитуд и фаз исходного временного ряда, есть возможность изменить базовые функции метода в зависимости от поставленной задачи.

Среди недостатков данного метода можно отметить: низкую скорость вычислений во время работы с большим количеством каналов ЭЭГ; данный метод применим только для работы с недискретными сигналами.

4. Линейный дискриминантный анализ (LDA)

Основная суть линейного дискриминантного анализа состоит в том, чтобы отнести наблюдения к соответствующему классу на основе набора измерений, путем нахождения оптимального линейного преобразования, максимизирующего возможность разделения на классы [5]. Технически LDA достигает оптимальных решений, когда векторы признаков многомерны, нормально распределены в каждом классе группы и когда разные классы групп имеют одинаковую ковариацию. Однако из-за нестационарности сигналов ЭЭГ это редко проявляется на практике, и модели можно легко переопределить, а их

предсказуемость – переоценить. Обычно это тот случай, когда данные ЭЭГ извлекаются из многоканальных сигналов, несущих шум, снятый с соседних каналов, особенно если каналы расположены достаточно близко друг к другу. На рис. 6 графически представлено разделение двух выборок с помощью LDA.

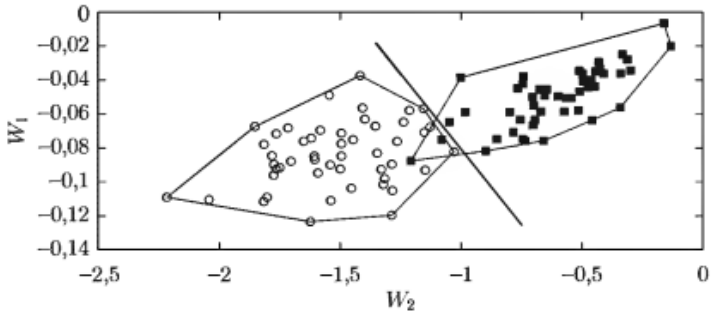


Рис. 6. Разделение двух выборок с помощью LDA

LDA применяется для снижения средней ошибки классификации данных ЭЭГ. В практической области это приводит к повышению точности, с которой компьютерные программы интерпретируют данные ЭЭГ.

Заключение

Таким образом, были рассмотрены основные математические методы обработки данных ЭЭГ, которые широко применяются в компьютерном анализе. Следует отметить, что наряду с рассмотренными в данной работе методами анализа ЭЭГ сигналов, также получают популярность методы с использованием свёрточных нейронных сетей с применением глубокого обучения.

Литература

1. Марпл-мл., С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения : пер. с англ. – М. : Мир, 1990. – 584 с.

2. Электроэнцефалография: руководство / М. В. Александров [и др.] ; под ред. М. В. Александрова. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : СпецЛит, 2020. – 224 с.

3. Шаныгин, С. И. Корреляционный и регрессионный анализ : учебник для вузов / С. И. Шаныгин ; отв. ред. В. В. Ковалев. – М. : Издательство Юрайт, 2025. – 70 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-18393-1.

4. Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии интерфейс мозг-компьютер / А. Я. Каплан [и др.] // Бюллетень Сибирской медицины. – 2013. – Т.12, №2. – С. 21-29.

5. Петухов, Д. Е. Линейный дискриминантный анализ как контролируемый подход в задачах уменьшения размерности данных / Д. Е. Петухов, А. В. Ткаченко, Ю. С. Белов // Научное обозрение. Технические науки. – 2020. – № 2. – С. 5-9.

Оценка вероятности правильного обнаружения факта атаки летательного аппарата при двухпозиционной пассивной координатометрии

Д. В. Смирнов, email: dm.sm1rnov@mail.ru
А. А. Донцов, email: addoncov1@mail.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *С использованием результатов синтеза оптимального алгоритма оценки параметров линейной траектории и расчета корреляционной матрицы ошибок экстраполяции ее параметров, и в предположении о равнодискретных и неравноточных измерениях, получены выражения средних квадратических отклонений ошибок экстраполяции координат траектории атакующей зенитной управляемой ракеты по соответствующим координатным осям. С помощью найденного суммарного значения ошибок экстраполяции координат получено выражение для вычисления вероятности правильного обнаружения факта атаки защищаемого летательного аппарата при двухпозиционной пассивной координатометрии, как вероятность попадания точки со средним квадратическим отклонением ошибок определения координат в эллипсоид рассеяния с полуосями, равными заданному размеру радиуса зоны обнаружения, при известных точностях пеленгования и определения текущих координат летательных аппаратов.*

Ключевые слова: *погрешность экстраполяции, вероятность правильного обнаружения, двухпозиционная пассивная координатометрия, пеленгование, матричный фотоприемник, среднее квадратическое отклонение, летательный аппарат.*

Введение

На современном этапе развития комплексов защиты летательных аппаратов от средств поражения (СП) с оптическими головками самонаведения комплексов противовоздушной обороны реализованы системы защиты [1] и [2]. Важнейшую роль при реализации систем защиты летательных аппаратов (ЛА) играет подсистема информационного обеспечения, включающая датчики обнаружения в секторах обзора и высокоточную гиростабилизированную систему

© Смирнов Д. В., Донцов А. А., 2025

сопровождения СП по факелу двигателя на основе матричного фотоприемника инфракрасного диапазона. Подсистема информационного обеспечения позволяет определять угловые координаты атакующего СП с точностью, достаточной для наведения источника лазерных помех с малой расходимостью [3]. Дальнейшее наращивание возможностей подсистемы информационного обеспечения обусловлено необходимостью оценки траектории атакующего СП на основе двухпозиционной пассивной координатометрии [4] путем выполнения экстраполяции координат СП для определения атакуемого ЛА в группе. Это позволит в случае групповой атаки средствами противовоздушной обороны рациональным образом распределить помеховый ресурс прикрываемых ЛА в звене (группе), реализовать индивидуально-взаимную защиту в звене (группе) на основе совместного использования ложных тепловых целей и некогерентных (когерентных) станций оптико-электронного подавления и обеспечить экипажи более достоверной информацией об угрозе поражения для принятия решения на выполнение маневра (покидание воздушного судна, катапультирование и т. п.). Для оценки возможности совершенствования подсистемы информационного обеспечения необходимо провести анализ погрешностей экстраполяции координат СП и рассчитать вероятность правильного обнаружения факта атаки защищаемого ЛА.

1. Расчет погрешностей экстраполяции координат ЗУР

Считаем, что по ЛА, выполняющему полет со скоростью $V_ц$, средством противовоздушной обороны осуществляется пуск СП (рис. 1). Координаты атакуемого ЛА в момент пуска СП: $\{x_{ц0}; y_{ц0}; z_{ц0}\}$, направление полета ЛА – вдоль оси OX. Начальные координаты средства противовоздушной обороны: $\{x_{ПВО}; y_{ПВО}; z_{ПВО}\}$, скорость средства поражения: $V_{СП}$, траектория полета – прямолинейная.

На двух авиационных комплексах (АК) прикрытия установлены системы высокоточного сопровождения средств поражения, каждая из которых представляет собой гиростабилизированную платформу с матричным инфракрасным приемником оптического излучения. Начальные координаты АК: $\{x_{10}; y_{10}; z_{10}\}$, $\{x_{20}; y_{20}; z_{20}\}$, скорости АК: V_1, V_2, направление полета – вдоль оси OX.

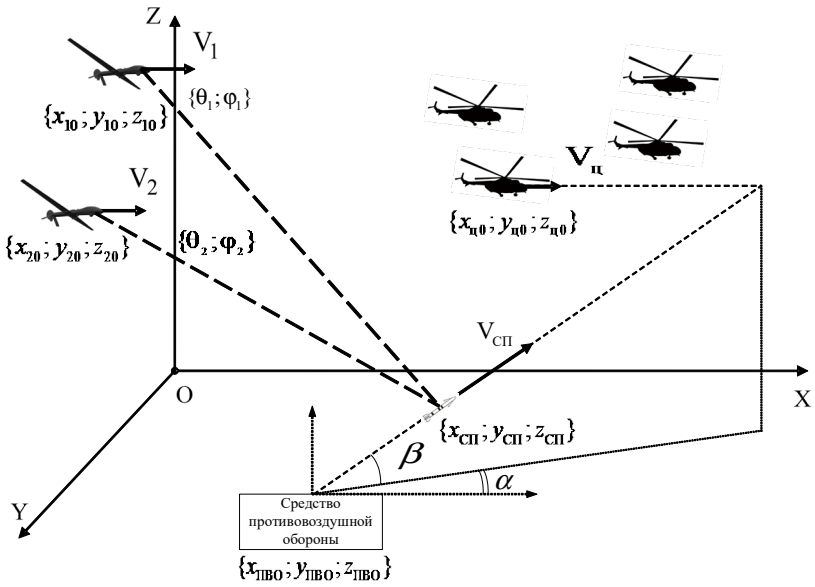


Рис. 1. Взаимное пространственное положение авиационных комплексов прикрытия и средства поражения в момент сопровождения

Каждая система высокоточного сопровождения обеспечивает определение угловых положений СП по азимуту и углу места: $\{\theta_1;\varphi_1\}$ и $\{\theta_2;\varphi_2\}$. После определения собственных координат АК прикрытия с помощью средств высокоточного навигационно-временного обеспечения рассчитываются координаты атакующего СП на основе метода двухпозиционного пеленгования по следующим выражениям:

$$
\begin{aligned}
X_{\text{р}} &= \frac{x_2\cos(\theta_1)\sin(\theta_2) - x_1\cos(\theta_2)\sin(\theta_1) + (y_{10}-y_{20})\cos(\theta_1)\cos(\theta_2)}{\cos(\theta_1)\sin(\theta_2) - \cos(\theta_2)\sin(\theta_1)} \\
Y_{\text{р}} &= \frac{(x_2-x_1)\sin(\theta_1)\sin(\theta_2) + y_{10}\cos(\theta_1)\sin(\theta_2) - y_{20}\cos(\theta_2)\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)\sin(\theta_2) - \cos(\theta_2)\sin(\theta_1)} \\
Z_{\text{р}} &= \frac{(y_{10}-y_{20})\sin(\varphi_1)\sin(\varphi_2) + z_{10}\cos(\varphi_1)\sin(\varphi_2)\sin(\theta_1)}{\cos(\varphi_1)\sin(\varphi_2)\sin(\theta_1) - \cos(\varphi_2)\sin(\varphi_1)\sin(\theta_2)} - \\
&\quad - \frac{z_{20}\cos(\varphi_2)\sin(\varphi_1)\sin(\theta_2)}{\cos(\varphi_1)\sin(\varphi_2)\sin(\theta_1) - \cos(\varphi_2)\sin(\varphi_1)\sin(\theta_2)}.
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

Знание ошибок определения угловых координат $\sigma_{уг}$ СП и собственных координат самих АК σ_0 позволяет оценить погрешности определения текущих координат ЗУР [5, 6] по выражениям:

$$\begin{gathered}\sigma_x^2 = \left(\frac{\partial X_{\text{р}}}{\partial \theta_1}\right)^2 \sigma_{уг}^2 + \left(\frac{\partial X_{\text{р}}}{\partial \theta_2}\right)^2 \sigma_{уг}^2 + \sigma_0^2; \\ \sigma_y^2 = \left(\frac{\partial Y_{\text{р}}}{\partial \theta_1}\right)^2 \sigma_{уг}^2 + \left(\frac{\partial Y_{\text{р}}}{\partial \theta_2}\right)^2 \sigma_{уг}^2 + \sigma_0^2; \\ \sigma_z^2 = \left(\frac{\partial Z_{\text{р}}}{\partial \theta_1}\right)^2 \sigma_{уг}^2 + \left(\frac{\partial Z_{\text{р}}}{\partial \theta_2}\right)^2 \sigma_{уг}^2 + \left(\frac{\partial Z_{\text{р}}}{\partial \varphi_1}\right)^2 \sigma_{уг}^2 + \left(\frac{\partial Z_{\text{р}}}{\partial \varphi_2}\right)^2 \sigma_{уг}^2 + \sigma_0^2.\end{gathered} \tag{2}$$

Рассчитаем СКО ошибок определения координат СП в момент встречи СП и цели. Время полета СП до точки встречи определяется выражением

$$T_x = \frac{y_{\text{ц}0} - y_{ПВО}}{V_{\text{р}} \cos(\beta)\sin(\alpha)} \tag{3}$$

Будем считать, что время начала засечек координат траектории атакующего СП на основе двухпозиционной пассивной координатометрии равно T_0, интервал засечек – ΔT, время экстраполяции, т. е. время от окончания засечек до момента встречи СП с целью, равно $T_э$. Тогда общее количество засечек при двухпозиционном пеленговании будет равно:

$$N = \frac{T_x - (T_0 + T_э)}{\Delta T} \tag{4}$$

Используя результаты синтеза оптимального алгоритма оценки параметров линейной траектории и расчета корреляционной матрицы ошибок экстраполяции ее параметров, представленные в [7], с учетом полученных выражений (3) и в предположении о равнодискретных измерениях, СКО ошибок экстраполяции координат траектории атакующего СП по соответствующим координатам запишем в виде

$$\sigma_{xэ} = \sqrt{\frac{\sum_i \left[w_{xi}(N-i)^2\right] + 2p\sum_i \left[w_{xi}(N-i)\right] + p^2 \sum_i w_{xi}}{\sum_i w_{xi} \sum_i \left[w_{xi}(N-i)^2\right] - \left[\sum_i \left[w_{xi}(N-i)\right]\right]^2}}, \tag{5}$$

где $w_{xi} = \dfrac{1}{\sigma_x^2(t_i)}$; $t_i = T_0 + (i-1)\Delta T$; $i = 0...N$; $p = \dfrac{T_э}{\Delta T}$;

$$\sigma_{yэ} = \sqrt{\frac{\sum_i \left[w_{yi}(N-i)^2 \right] + 2p\sum_i \left[w_{yi}(N-i) \right] + p^2 \sum_i w_{yi}}{\sum_i w_{yi} \sum_i \left[w_{yi}(N-i)^2 \right] - \left[\sum_i \left[w_{yi}(N-i) \right] \right]^2}}, \qquad (6)$$

где $w_{yi} = \dfrac{1}{\sigma_y^2(t_i)}$;

$$\sigma_{zэ} = \sqrt{\frac{\sum_i \left[w_{zi}(N-i)^2 \right] + 2p\sum_i \left[w_{zi}(N-i) \right] + p^2 \sum_i w_{zi}}{\sum_i w_{zi} \sum_i \left[w_{zi}(N-i)^2 \right] - \left[\sum_i \left[w_{zi}(N-i) \right] \right]^2}}, \qquad (7)$$

где $w_{zi} = \dfrac{1}{\sigma_z^2(t_i)}$.

Полученные выражения (5)–(7) определяют СКО ошибок определения координат атакующего СП в момент встречи ракеты с целью и позволяют рассчитать суммарное значение СКО ошибок экстраполяции координат атакующей зенитной управляемой ракеты

$$\sigma_{sэ} = \sqrt{\sigma_{xэ}^2 + \sigma_{yэ}^2 + \sigma_{zэ}^2} \qquad (8)$$

На рис. 2 представлены зависимости суммарного СКО ошибок экстраполяции координат ЗУР от точности пеленгования матричными фотоприемниками (а) и от точности средств навигационно-временного обеспечения (б), вычисленные при следующих исходных данных: x_{10}=2,4 км; y_{10}=-750 м; z_{10}=500 м; V_1=100 м/с; x_{20}=1,9 км; y_{20}=-250 м; z_{20}=600 м; V_2=100 м/с; $x_{ц0}$=2,4 км; $y_{ц0}$=250 м; $z_{ц0}$=300 м; $V_ц$=100 м/с; $x_{р0}$=5,5 км; $y_{р0}$=100 м; $z_{р0}$=0 м; $V_р$=750 м/с . Для рис. 2 (а) точность средств навигационно-временного обеспечения σ_0 = 1 м, а для рисунка 2 (б) точность пеленгования матричными фотоприемниками $\sigma_{уг}$ = 0,05 град. Линии, обозначенные цифрой 1, рассчитаны для интервала засечек ΔT = 0,01 с, линии 2 – для ΔT = 0,05 с, линии 3 – для ΔT = 0,1 с.

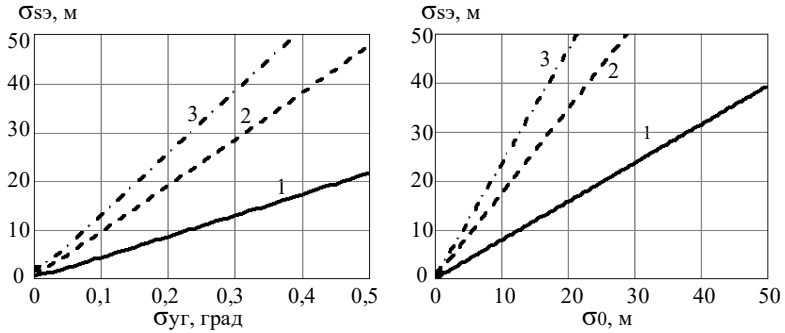


Рис. 2. Графики зависимости суммарного СКО ошибок экстраполяции от точности системы пеленгования (а) и точности системы навигационного временного обеспечения (б)

Из рис. 2 (а) видно, что при обеспечении высокой точности определения собственных координат ЛА влияние на значение суммарного СКО ошибок экстраполяции координат ЗУР оказывает как точность системы пеленгования матричными фотоприемниками, так и интервалы засечек координат СП. Так, при $\sigma_{уг} \leq 0{,}1$ град, значение $\sigma_{sэ}$ изменяется в пределах от 0 до 13 метров, а при $\sigma_{уг} = 0{,}3$ град в зависимости от интервала засечек принимает значение от 13 до 38 метров.

На рис. 2 (б) показано, что при обеспечении высокой точности пеленгования $\sigma_{уг} = 0{,}01$ градуса влияние на суммарное СКО ошибок экстраполяции также оказывает точность системы навигационного временного обеспечения, а именно при $\sigma_0 \leq 5$ метров СКО изменяется незначительно от своих начальных значений от 0 до 10 метров, а при $\sigma_0 = 20$ метров СКО варьирует в диапазоне от 16 до 48 метров.

2. Расчет вероятности правильного обнаружения факта атаки защищаемого ЛА

Определим вероятность правильного обнаружения факта атаки защищаемого ЛА как вероятность попадания точки с СКО ошибок определения координат, рассчитанными с использованием выражений (5)-(7), в эллипсоид рассеяния с полуосями, равными заданному размеру радиуса зоны обнаружения $R_з$ [8]:

$$P = 2\Phi(k) - \sqrt{\frac{2}{\pi}} k e^{-k^2/2}, \qquad (9)$$

где $k = \frac{R_э}{\sigma_{sэ}}$; Φ – функция Лапласа.

На рис. 3 представлены зависимости вероятности правильного обнаружения факта атаки от радиуса зоны обнаружения, рассчитанные при различных значениях СКО ошибок пеленгования $\sigma_{уг}$ и интервалов засечек ΔT для совокупности исходных данных: x_{10}=2,4 км; y_{10}=-750 м; z_{10}=500 м; V_1=100 м/с; x_{20}=1,9 км; y_{20}=-250 м; z_{20}=600 м; V_2=100 м/с; $x_{ц0}$=2,4 км; $y_{ц0}$=250 м; $z_{ц0}$=300 м; $V_ц$=100 м/с; $x_{ПВО}$=5,5 км; $y_{ПВО}$=100 м; $z_{ПВО}$=0 м; $V_{СП}$=750 м/с σ_0=5 м; T_0=1 с; $T_э = (T_x - T_0)/2$. Кривые 1 – для $\sigma_{уг}$= 0,01 град; кривые 2 – для $\sigma_{уг}$ = 0,05 град; кривые 3 – для $\sigma_{уг}$ = 0,1 град.

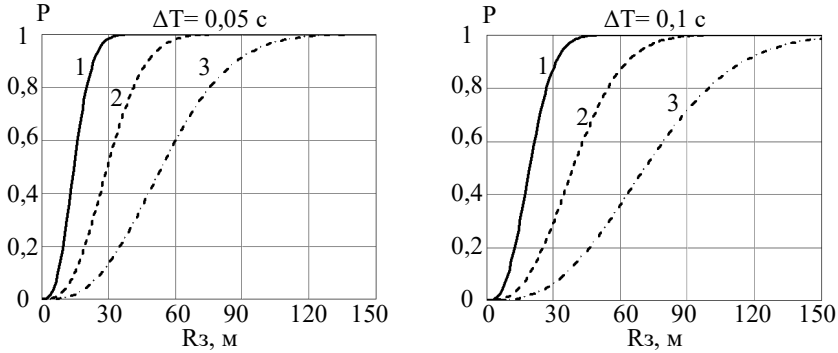


Рис. 3. Графики зависимости вероятности правильного обнаружения факта атаки от радиуса зоны обнаружения, рассчитанные при различных значениях СКО ошибок пеленгования $\sigma_{уг}$ и интервалов засечек ΔT

Анализ графиков, представленных на рис. 3, показывает, что при высокой точности пеленгования матричным фотоприемниками $\sigma_{уг} = 0,01^{o}$ вероятность правильного обнаружения факта атаки более 0,8 обеспечивается при интервалах засечек ΔT = 0,05 с, если радиус зоны обнаружения составляет более 20 метров, т. е. расстояние между соседними ЛА должно быть более 40 метров. Для достижения высокой

вероятности обнаружения факта атаки при снижении точности пеленгования и увеличении времени между засечками угловых координат необходимо увеличивать расстояние между ЛА в звене. Так, при СКО ошибок пеленгования $\sigma_{уг} = 0{,}1$ град и $\Delta T = 0{,}1$ с необходимо, чтобы расстояние между ЛА было не менее 200 метров. В этом случае вероятность правильного обнаружения факта атаки по одному из них будет более 0,8.

Заключение

Таким образом, проведена оценка расчета вероятности правильного обнаружения факта атаки защищаемого ЛА при двухпозиционной пассивной координатометрии. В методике для заданного взаимного пространственного положения группы ударных ЛА, а также ЛА, оснащенных средствами пассивной координатометрии, и атакующей ЗУР, на основе методов теории цифровой обработки радиолокационной информации для заданного времени экстраполяции и в предположении о равнодискретных измерениях получены выражения для расчета СКО ошибок экстраполяции координат для атакующей ЗУР в момент встречи ракеты с целью, позволяющие рассчитать вероятность правильного обнаружения факта атаки защищаемого ЛА при заданных размерах зоны обнаружения, СКО ошибок пеленгования и СКО ошибок определения координат ЛА. Анализ полученных результатов показал, что при обеспечении высокой точности определения собственных координат ЛА влияние на значение суммарного СКО ошибок экстраполяции координат ЗУР оказывает как точность системы пеленгования матричными фотоприемниками, так и интервалы засечек координат ЗУР. Так, при $\sigma_{уг} \le 0{,}1$ град значение $\sigma_{sэ}$ изменяется в пределах от 0 до 35 метров, при $\sigma_{уг} = 0{,}2$ град, в зависимости от интервала засечек, принимает значение от 30 до 90 метров, а при обеспечении высокой точности пеленгования $\sigma_{уг} = 0{,}01$ град влияние на суммарное СКО экстраполяции также оказывает точность системы навигационного временного обеспечения, а именно, при $\sigma_0 \le 5$ метров, СКО изменяется незначительно от своих начальных значений от 8 до 25 метров, а при $\sigma_0 = 30$ метров – в диапазоне от 25 до 75 метров. При высокой точности пеленгования матричными фотоприемниками $\sigma_{уг} = 0{,}01^{\circ}$ вероятность правильного обнаружения факта атаки более 0.8 обеспечивается при интервалах засечек $\Delta T = 0.05$ с, если радиус зоны обнаружения составляет более 20 метров, т. е. расстояние между соседними ЛА должно быть более 40 метров. Для достижения высокой вероятности

обнаружения факта атаки при снижении точности пеленгования и увеличении времени между засечками угловых координат необходимо увеличивать расстояние между ЛА в звене. Так, при СКО ошибок пеленгования $\sigma_{уг} = 0{,}1$ град и $\Delta T = 0{,}1$ с необходимо, чтобы расстояние между ЛА было не менее 200 метров. В этом случае вероятность правильного обнаружения факта атаки одного из них будет более 0,8.

Список литературы

1. Способ и система защиты воздушных судов от ракет переносных зенитных ракетных комплексов [Текст] : пат. 2511513C2 Российская Федерация : МПК 7 F41H, 11/02. / Бутузов В. В., Великанов С. Д., Гаранин С. Г., Иванов В. П., Кислецов А. В., Яцык В. С. ; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИ «Экран». – № 2012135335/11 ; заявл. 16.08.12 ; опубл. 10.04.14, Бюл. № 10.
2. Бортовой комплекс индивидуальной защиты летательного аппарата от управляемых ракет с инфракрасными головками самонаведения [Текст] : пат. 96553U1 Российская Федерация : МПК B64D 45/00 / Бутузов В. В., Вагонов С. Н., Кобзарь А. И., Казаков В. С. ; заявитель и патентообладатель ЗАО «СКБ «Зенит», ФГУП «НИИ «Экран». – № 2010113325/11 ; заявл. 07.04.10 ; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22.
3. Бутузов, В. В. Многофункциональные интегрированные унифицированные комплексы для защиты летательных аппаратов / В. В. Бутузов // Материалы VIII НТК. – Воронеж : Печатный дом, 2009. – С. 140-149.
4. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов : монография / Ю. Л. Козирацкий [и др.]. – М. : Радиотехника, 2015. – 456 с.
5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2024687032 Российская Федерация. Программа расчета погрешностей определения координат атакующей ракеты по результатам двухпозиционной пассивной координатометрии матричными фотоприемниками / заявитель и правообладатель Смирнов Д. В., Донцов А. А. (RU). – №2024683888 ; заявл.13.10.24 ; опубл. 14.10.2024, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
6. Смирнов, Д. В. Методика расчета погрешностей определения координат атакующей ракеты по результатам двухпозиционной пассивной координатометрии матричными фотоприемниками / Д. В. Смирнов, А. А. Донцов // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2024. – №32. – С. 192-201.
7. Кузьмин, С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. – М. : Сов. Радио, 1974. – 432 с.

Методы оптимизации энергопотребления в беспроводной сети сбора данных

В. А. Соколов, email: foxolov@mail.ru
А. Ю. Савинков, email: a.savinkov@gmail.com

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В работе рассматриваются методы оптимизации энергопотребления в беспроводных сетях сбора данных, включая алгоритмы маршрутизации, энергосберегающие протоколы и стратегии управления режимами узлов. Особое внимание уделено технологиям, позволяющим продлить срок службы устройств и повысить эффективность передачи данных.*

Ключевые слова: *mesh-сети, беспроводные сети, автономные сети, алгоритмы управления энергопотреблением.*

Введение

Беспроводные сети сбора данных находят применение в различных сферах, таких как мониторинг окружающей среды, системы «умного» города и промышленный Интернет вещей. Эти сети состоят из множества узлов, которые собирают, обрабатывают и передают данные. Они используются для контроля различных параметров, таких как температура, влажность, уровень загрязнения, вибрации и другие физические характеристики.

Одной из главных проблем таких сетей является ограниченный ресурс питания узлов, которые зачастую работают от батарей или альтернативных источников энергии. Учитывая, что замена или подзарядка батарей в крупных сетях может быть сложной и затратной, оптимизация энергопотребления является критически важной задачей. Главная цель энергосбережения в таких сетях – продлить срок службы узлов, минимизируя при этом потери данных и снижая нагрузку на коммуникационные каналы.

Для достижения этих целей разрабатываются различные методы энергосбережения, включающие оптимизацию программных и аппаратных решений. Программные методы включают использование эффективных алгоритмов маршрутизации и адаптивных схем управления энергопотреблением. Аппаратные решения, в свою очередь, направлены на применение энергоэффективных компонентов и технологий сбора энергии из окружающей среды. Комплексное

© Соколов В. А., Савинков А. Ю., 2025

использование этих технологий позволяет значительно повысить эффективность работы беспроводных сенсорных сетей и продлить их автономное функционирование.

В данной статье рассмотрены ключевые технологии энергосбережения, а также их возможная реализация в самостоятельных проектах по разработке беспроводных сетей сбора данных.

1. Основные технологии энергосбережения

Энергопотребление в сетях сбора данных можно минимизировать за счет использования различных технологий [1], из которых перечислим следующие:

1. Оптимизация протоколов доступа

Протоколы управления доступом к среде передачи данных играют ключевую роль в снижении энергозатрат. Они управляют процессами обмена информацией между узлами, регулируя частоту передачи данных и периоды активности устройств. Эффективное использование протоколов позволяет значительно уменьшить ненужные передачи данных и время, затрачиваемое узлом на прослушивание сети [2].

– Duty Cycling – этот метод заключается в переводе узлов в спящий режим в периоды, когда передача данных не требуется. Таким образом, устройства активируются только в заранее заданные интервалы, что позволяет значительно экономить энергию.

– Listen Before Talk (LBT) – механизм, при котором узел передает данные только при отсутствии активности в канале связи. Это снижает вероятность коллизий и минимизирует число повторных передач, что положительно сказывается на расходе энергии.

– Adaptive Sleeping – динамическое управление циклами сна и активности узлов, в зависимости от нагрузки на сеть. При низкой нагрузке узлы могут дольше оставаться в спящем режиме, а при высокой – быстрее активироваться.

2. Энергоэффективные алгоритмы маршрутизации

Алгоритмы маршрутизации в WSN напрямую влияют на энергопотребление, поскольку правильное управление путями передачи данных позволяет сократить количество пересылок и балансировать нагрузку между узлами [3].

– Минимизация числа ретрансляций: сокращение числа промежуточных узлов в маршруте передачи данных уменьшает затраты энергии на ретрансляцию и продлевает срок службы устройств.

– Энергосберегающие маршруты: используются алгоритмы, которые выбирают оптимальные маршруты, учитывая уровень заряда батарей узлов. Это позволяет снизить вероятность преждевременного выхода из строя отдельных узлов.

3. Оптимизация аппаратных решений

Аппаратные методы энергосбережения включают использование компонентов с низким энергопотреблением, а также применение технологий, позволяющих восполнять запасы энергии за счет окружающей среды.

– Использование низкоэнергетических микроконтроллеров: современные микроконтроллеры, такие как STM32, предлагают режимы пониженного энергопотребления, которые позволяют устройствам оставаться в спящем режиме, пока не требуется обработка данных. Кроме того, STM32 обеспечивает гибкость в настройке архитектуры и логики работы устройства, что делает его удобным для широкого спектра задач. В отличие от ESP32 и других контроллеров, STM32 предоставляет больше возможностей для низкоуровневого управления энергопотреблением и тонкой настройки режимов работы.

– Применение скремблеров на основе LFSR – технология, уменьшающая затраты энергии на обработку данных за счет эффективного сжатия информации и устранения избыточных передач.

– Использование альтернативных источников энергии (Energy Harvesting): применение солнечных батарей, вибрационных элементов и других методов энергосбора позволяет продлить срок автономной работы узлов WSN без необходимости замены батарей.

2. Самостоятельная реализация энергосберегающих технологий

Самостоятельная реализация методов энергосбережения требует комплексного подхода, включающего как программные, так и аппаратные решения. Оптимизация энергопотребления начинается с грамотного проектирования архитектуры сети. Важно учитывать баланс между стабильностью передачи данных и минимизацией энергозатрат, что достигается за счет адаптивного управления узлами.

Алгоритм работы сети можно разделить на несколько ключевых этапов. В начальной фазе все узлы переходят в спящий режим, оставляя включенной периферию сбора и передачи данных. В случае необходимости обработки и передачи данных узел на короткое время выходит из режима сна, проводит анализ полученных с периферических устройств данных, продолжает передачу пакетов адресату и снова входит в режим сна.

Для сокращения ненужных передач данных в сети реализуется механизм duty cycling. Каждый узел имеет расписание активности, согласно которому он просыпается только на короткие промежутки времени для проверки наличия новых сообщений. При отсутствии важной информации узел остается в спящем режиме, снижая энергопотребление.

Маршрутизация также играет важную роль в энергосбережении. Основой реализуемого алгоритма является протокол AODV, позволяющий быстро и гибко изменять архитектуру сети при добавлении, удалении или сбое устройств. Для передачи данных используется энергосберегающий алгоритм, учитывающий уровень заряда каждого узла и соответствующим образом настраивающий мощность приёмопередающего устройства. Это предотвращает перегрузку отдельных узлов и способствует равномерному распределению нагрузки по сети. В перспективе планируется внедрение кластеризации узлов, что сократит общее количество передаваемых сообщений.

На аппаратном уровне предусматривается использование микроконтроллеров, поддерживающих тонкую настройку прерываний и спящего режима, которые позволяют эффективно управлять энергопотреблением. Применение радиомодулей с поддержкой низковольтных режимов работы и алгоритмов LBT (Listen Before Talk) минимизирует потребление энергии на уровне беспроводной связи. Дополнительно, для автономных узлов может быть реализован механизм Energy Harvesting с использованием солнечных панелей или других альтернативных источников энергии.

3. Планируемая реализация в самодельной системе

Разрабатываемая система сбора данных будет основана на микроконтроллерах STM32F407VE [4] и радиомодулях nRF24L01 [5], что обеспечит низкое энергопотребление и стабильную связь между узлами. Для минимизации энергопотребления в системе будут использоваться duty cycling, динамическая маршрутизация и LBT. Выбранный микроконтроллер поддерживает три режима экономии энергии, при которых остаются активными обработчик прерываний и таймер прерывания. Выбранный радиомодуль способен формировать прерывания при трех ситуациях: при получении пакета, при подтверждении отправки пакета (рис. 1) и при достижении максимального количества повторных отправок пакета (рис. 2).

Кроме того, планируется интеграция алгоритмов интеллектуального управления энергопотреблением, что позволит узлам сети адаптироваться к изменениям в нагрузке и внешних условиях. Это обеспечит максимальную эффективность использования ресурсов и продлит срок службы сети без необходимости замены батарей.

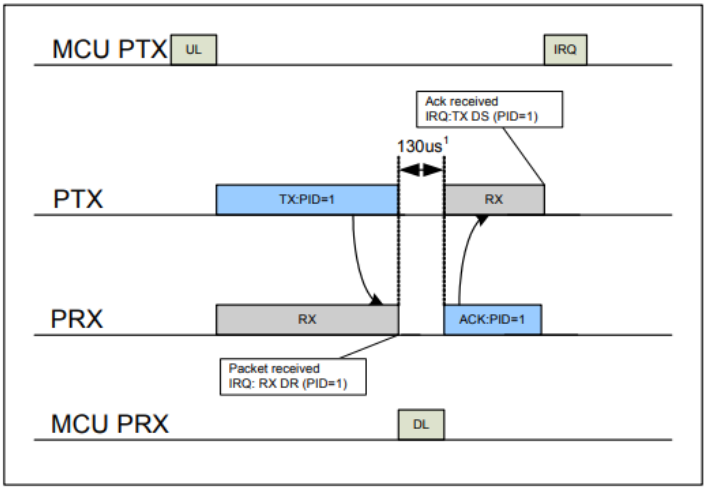


Рис. 1. Схема запросов прерываний при нормальном цикле приёма-передачи пакета

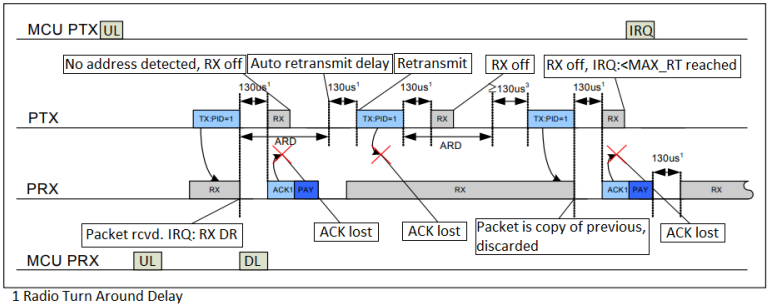


Рис. 2. Схема запроса прерывания при достижении максимального количества повторных отправок пакета

Заключение

В статье рассмотрены основные методы энергосбережения в беспроводных сетях сбора данных. Основное внимание уделено технологиям, которые можно реализовать самостоятельно, включая оптимизацию протоколов доступа к сети, алгоритмов маршрутизации и аппаратных решений. Разработана схема алгоритма сети сбора данных

с учетом программных и аппаратных методов энергосбережения. В дальнейшем эти методы будут применены в макете системы сбора данных, что позволит протестировать их эффективность в реальных условиях.

Список литературы

1. Karl, H. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks / H. Karl, A. Willig. – John Wiley & Sons, Ltd, 2005. – 497 p.

2. Ye, W. An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks / W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin // Proceedings. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. – 2002. – vol. 3. – pp. 1567-1576.

3. Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: A Survey / G. Anastasi [et al.] // Ad Hoc Networks. – 2009. – vol 7, № 3. – pp. 537-568.

4. STM32F405xx, STM32F407xx [Электронный ресурс] / STMicroelectronics. – Режим доступа: https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf

5. nRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver : Product Specification v. 1.0 [Электронный ресурс] / Nordic Semiconductor – Режим доступа: https://cdn.sparkfun.com/assets/3/d/8/5/1/nRF24L01P_Product_Specification_1_0.pdf

Способ реализации высвобождаемого частотного ресурса в системе связи беспилотный летательный аппарат – наземный пункт управления

А. С. Чичканов, email: a_chichkanov1983@mail.ru
Е. А. Богословский, email: qro76@yandex.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *Рассмотрен способ реализации высвобождаемого частотного ресурса в системе связи беспилотный летательный аппарат – наземный пункт управления, применение которого позволит дублировать информацию основного канала передачи разведывательной информации при подавлении помехой части спектра основного канала или предоставить этот ресурс для передачи данных вторичной полезной нагрузки при благоприятной сигнально-помеховой обстановке.*

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, полезная нагрузка, наземный пункт управления, высвобождаемый частотный ресурс, реальный масштаб времени.*

Введение

Сегодня в мире наблюдается устойчивый интерес к развитию и совершенствованию беспилотной техники. В развитых странах она уже несколько десятков лет используется для выполнения различных задач. В настоящее время, в интересах Вооруженных сил, комплексы с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) предполагается использовать для решения разнохарактерных задач в условиях, когда применение пилотируемой авиации невозможно или нецелесообразно (сильное противодействие средств ПВО противника, радиационное, химическое или бактериологическое заражение воздуха и местности в районе боевых действий, осуществление длительного наблюдения за противником и т. д.).

1. Разработка способа реализации высвобождаемого частотного ресурса в системе связи беспилотный летательный аппарат – наземный пункт управления

В БЛА можно интегрировать широкий спектр полезных нагрузок (ПН), который, помимо видеокамер, может включать такие модули, как

© Чичканов А. С., Богословский Е. А., 2025

тепловизионные и инфракрасные камеры, дальномеры, лазерные целеуказатели, радиолокационные системы и т. д. При выборе ПН, которая лучше всего соответствует выполнению поставленных БЛА задач, важно учитывать не только ее возможности, но и влияние на производительность БЛА, а также требования к каналу передачи на наземный пункт управления (НПУ) информации, полученной с использованием этих средств. Эффективность применения БЛА для выполнения поставленных задач обеспечивается за счет передачи по радиоканалам связи между БЛА и НПУ достоверной, целостной, оперативной и защищенной информации. Поэтому система радиосвязи БЛА и представляет собой совокупность линий связи, по которым передается информация различного типа, объема, уровня важности и криптозащиты.

Для организации передачи данных между БЛА и НПУ по одному каналу связи используются технологии мультиплексирования трафиков видеоданных и командно-телеметрических данных, что, в случае применения средств радиоэлектронного подавления (РЭП), может привести к подавлению единственного канала связи и потере связи с БЛА. Поэтому в целях противостояния РЭП в настоящее время в БЛА стараются применять приемопередающее оборудование, реализующее как минимум два радиоканала связи. Необходимость применения двух радиоканалов связи обуславливается тем, что требуется обеспечить распределенную передачу командно-телеметрических данных и данных от технических средств ПН, так как довольно распространенным способом управления БЛА остается режим ручного управления по получаемым видеоданным. Принимаемые оператором на НПУ видеоданные имеют большую интенсивность трафика, требуют обеспечения их передачи в реальном масштабе времени (РМВ). Это, в свою очередь, предполагает использование канала с широкой полосой пропускания частот, тогда как для передачи командно-телеметрических данных, напротив, широкая полоса пропускания не требуется ввиду того, что эти данные не имеют большого объема.

Отметим, что отсутствие возможности размещения на БЛА большеразмерных остронаправленных антенных систем ведет к тому, что видеоданные передаются через всенаправленную антенну, либо через антенну с широким главным лепестком диаграммы направленности антенны (порядка 60–90°), и это приводит к тому, что противник может относительно легко не только вскрывать сигнально-частотные параметры данных радиоканалов, но и получать доступ к передаваемым видеоданным, осуществлять их подмену или блокировку [1].

Таким образом, в настоящее время актуальной является задача обеспечения защиты и повышения вероятности доставки передаваемого потока данных от БЛА на НПУ. Как правило, в качестве таких методов защиты информации используются криптографические методы. В соответствии с данными, приведенными в работах [2–5], в БЛА могут применяться алгоритмы шифрования в соответствии со стандартами: MILSTD-188-181A, MIL-STD-188-183, NSA Type I, Triple DES, AES-128, а в случае организации связи с использованием стандартов, основанных на технологии Wi-Fi, возможно применение криптографических протоколов защиты, встроенных в эти стандарты (WEP, WPA, WPA2 и др.). Но для большинства БЛА тактического и оперативно-тактического назначения, где также формируется большой объем видеоданных от технических средств ПН и присутствует необходимость их передачи в РМВ, применение криптографических алгоритмов затруднительно. Так как в составе таких БЛА ограничена возможность использования высокопроизводительной аппаратуры шифрования, это предопределяет использование либо низкого уровня криптозащиты, либо её полное отсутствие. А в случаях попыток применения дополнительных программно-аппаратных комплексов криптографической защиты [6] в составе БЛА возникают вопросы, связанные с дополнительным потреблением первичных источников электроэнергии [7, 8] и ограниченной грузоподъемностью [9–12].

Следует отметить, что, ввиду обозначенных сложностей применения криптографических алгоритмов на борту БЛА, наибольший интерес представляют исследования, направленные на разработку методов защиты (передачи) информации, не связанных с классическими криптографическими преобразованиями. Таким образом, для обеспечения безопасности передаваемых видеоданных от БЛА к НПУ предлагается вариант применения схемы дублирования информации, которая предполагает наличие между БЛА и НПУ как минимум двух информационных потоков в одном канале связи, разнесенных по частоте. Предполагается, что рассматриваемый вариант предъявляет минимальные требования к вычислительным ресурсам используемого центрального процессора управления [13–16], имеет возможность встраивания в программную среду БЛА, обладают быстродействием, простотой применения.

Предлагается разделять передаваемые с БЛА на НПУ видеоданные с использованием сигналов с ортогональным частотным разделение несущих частот (OFDM-сигналов) на два отдельных потока информации, передаваемых в разделяемых частях полосы частот. При этом с физической точки зрения перехват всех потоков является

затруднительным, так же, как и восстановление исходных видеоданных без какой-либо части потока данных [17–19]. Поэтому, ввиду большого объема видеоданных от технических средств ПН БЛА, ограниченности доступного частотного ресурса (ЧР) для организации радиосвязи БЛА с НПУ и в целях выбора подходящих параметров каналов передачи, возникает необходимость использования различных способов и технологий оптимизации, синхронизации и балансировки пропускных способностей каналов передачи данных [1].

В связи с этим, актуальной является разработка вариантов, предусматривающих гибкий подход к использованию ЧР в канале связи БЛА – НПУ в зависимости от интенсивности формируемого различными ПН БЛА трафика, а также помеховой и фоноцелевой обстановки в районе выполнения задач воздушной разведки (ВР). Для удовлетворения этих требований предлагается рассмотреть способ реализации высвобождаемого частотного ресурса в системе связи БЛА – НПУ, представленный на рис. 1.

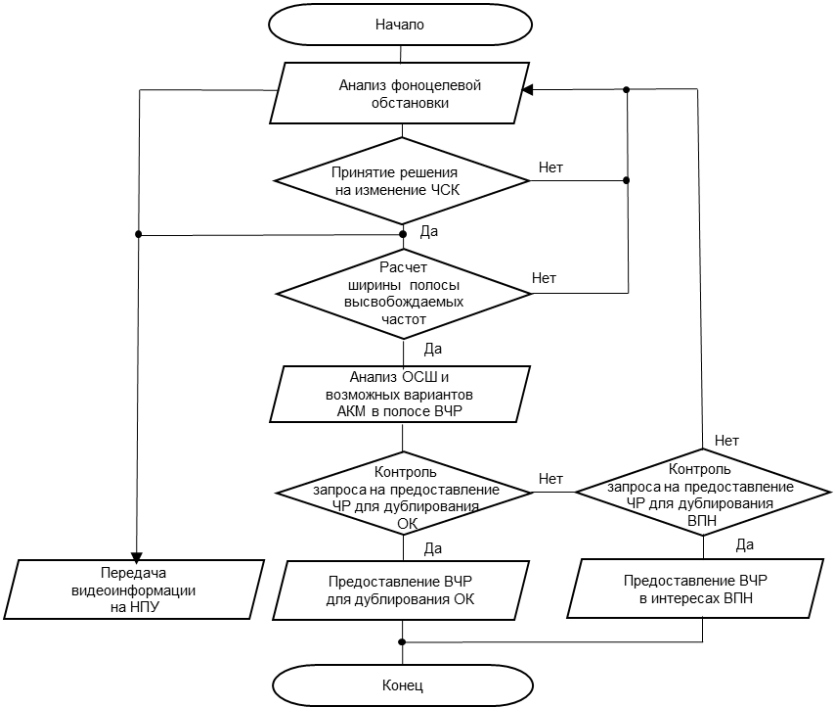


Рис. 1. Способ реализации ЧР в системе связи БЛА-НПУ

На рис. 2 приведена структурная схема устройства, реализующего способ реализации ЧР в системе связи БЛА – НПУ. Схема функционирует следующим образом. В ходе выполнения задач ВР непрерывно осуществляется анализ фоноцелевой обстановки (ФЦО). При обнаружении объектов интереса (ОИ) с помощью алгоритмов предварительной обработки информации на основе энергетического функционала, в блоке управления частотой следования кадров (БУ ЧСК) определяется их количество, координаты и вектор движения, а также формируются сигналы их подсвета. Далее пропорционально количеству этих объектов производится изменение ЧСК видеопотока. При этом пропорционально частоте кадров изменяется объем передаваемой в канале связи информации, а также количество задействованных для этого «активных» поднесущих OFDM-сигнала. В случае, если установленная ЧСК не позволяет оператору БЛА принять решение относительно обнаруженных ОИ, то он может осуществить ее дискретное увеличение вплоть до максимального значения 25 кадров в секунду.

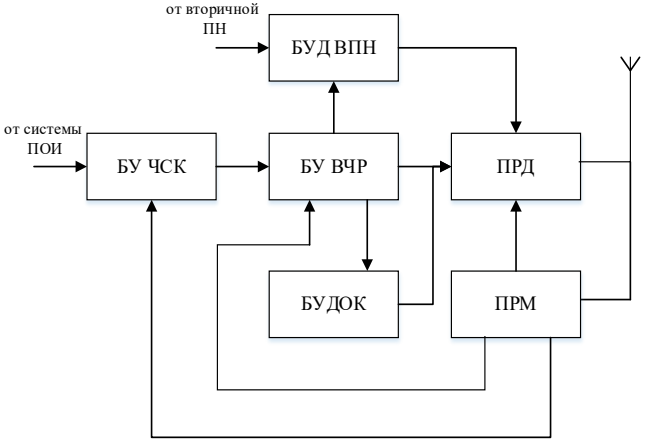


Рис. 2. Структурная схема устройства, реализующего способ реализации ЧР в системе связи БЛА – НПУ

В результате изменения ЧСК в блоке управления высвобождаемым ЧР (БУ ВЧР) формируется высвобождаемый частотный ресурс (ВЧР), который может быть задействован для дублирования видеоданных основного канала (ОК) ВР, а случае отсутствия такой необходимости, для передачи данных вторичной ПН (ВПН), например, инфракрасных

и тепловизионных видеокамер. При этом производится вычисление ширины высвобождаемой полосы частот и определение отношения сигнал-шум (ОСШ) в пределах этой полосы. На основании ОСШ выбирается вариант адаптивного вида модуляции и помехоустойчивого кодирования (АКМ). Далее производится анализ качества ОК передачи видеоданных и принимается решение о необходимости его дублирования в высвобождаемой полосе частот. В случае, если дублирование необходимо, то выполняется сравнение размера ВЧР с размером ЧР ОК с целью определения таковой возможности. И, если размер ВЧР позволяет, то в блоке управления дублированием информации ОК (БУДОК) производится дублирование информации ОК передачи данных ВР. В противном случае ВЧР используется для передачи данных ВПН рассматриваемого БЛА, где по запросу в блоке управления дублированием информации ВПН (БУД ВПН) производится определение размера необходимого для этого ЧР, и, если этот размер удовлетворяет запросу, выполняется передача данных ВПН с учетом очередности поступивших запросов. Далее сигнал поступает в передатчик (блок ПРД).

Заключение

Таким образом, в ходе исследований разработан способ реализации высвобождаемого частотного ресурса в системе связи БЛА – НПУ, позволяющий дублировать информацию ОК передачи разведывательной информации при подавлении помехой части спектра ОК или предоставить ВЧР для передачи данных ВПН при благоприятной помеховой обстановке.

Список литературы

1. Макаренко, С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам : монография / С. И. Макаренко. – СПб. : Наукоемкие технологии, 2020. – 204 с.

2. Информационные системы беспилотных комплексов стратегической и 191 оперативной воздушной разведки США / С. Г. Белов [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. – 2020. – № 1. – С. 28-42.

3. Слюсар, В. И. Передача данных с борта БПЛА: Стандарты НАТО / В. И. Слюсар // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2010. – № 3 (101). – С. 80-87.

4. Самойленко, Д. В. Распределённая обработка и защита информации в группировке комплексов с беспилотными летательными аппаратами / Д. В. Самойленко, О. А. Финько, М. А. Еремеев // Теория и техника радиосвязи. – 2017. – № 4. – С. 93-100.

5. Самойленко, Д. В. Обеспечение целостности информации в группе беспилотных летательных аппаратов в условиях деструктивных воздействий нарушителя / Д. В. Самойленко, О. А. Финько // Вопросы оборонной техники. Сер. 16, Технические средства противодействия терроризму. – 2017. – № 5-6 (107-108). – С. 20-27.

6. Митращук, В. В. Программно-аппаратный комплекс защиты телеметрии и телеуправления, специализированного беспилотного летательного аппарата / В. В. Митращук, М. П. Баранова // Журнал СФУ. Техника и технологии. – 2019. – № 5. – С. 585-598.

7. Халютин, С. П. Алгоритм определения состава и параметров первичных источников электроэнергии БПЛА / С. П. Халютин, Б. В. Жмуров // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2010. – Т. 1. – С. 425-429.

8. Капелько, К. В. Алгоритм оптимизации параметров комбинированной системы электроснабжения электрических беспилотных летательных аппаратов / К. В. Капелько, Э. Ю. Хозулин // Вестник ТГТУ. – 2022. – № 1. – С. 46-54.

9. Карякин, В. В. Беспилотные летательные аппараты – новая реальность войны / В. В. Карякин // Проблемы национальной стратегии. – 2015. – № 3 (30). – С. 130-145.

10. Шаталов, Н. В. Особенности классификации БПЛА самолетного типа / Н. В. Шаталов // Перспективы развития информационных технологий. – 2016. – № 29. – С 34-39.

11. Каршов, Р. С. Классификация беспилотных летательных аппаратов / Р. С. Каршов // Проблемы науки. – 2016. – № 11. – С.10-13.

12. Классификация беспилотных летательных аппаратов (в контексте современных войн в арабском мире) / С. И. Безруков [и др.] // Оригинальные исследования (ОРИС). – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 66-81.

13. Sagaydak, D. A. Model secret sharing schemes in systems transmit video / D. A. Sagaydak, R. T. Faizullin // Computer Optics. – 2013. – Vol. 37, No. 1. – PP. 105-112.

14. Файзуллин, Р. Т. Приложение алгоритма префиксного кодирования массива данных в схеме разделения секрета потока видеоданных / Р. Т. Файзуллин, Д. А. Сагайдак // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 1-2 (25). – С. 136-140.

15. Алгоритмы обработки информации при передаче и хранении данных, основанные на процедуре разделения секрета / В. В. Михеев [и др.] // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – № 5 (27). – С. 82-87.

16. Shamir, A. How to share a secret / A. Shamir // Communications of the ACM. – 1979. – Vol. 22, No. 11. – PP. 612-613.

17. Лавров, Д. Н. Схема разделения секрета для потоков данных маршрутизируемой сети / Д. Н. Лавров // Математические структуры и моделирование. – 2002. – № 10. – С. 192-197.

18. Ефимов, В. И. Система мультиплексирования разнесенного TCP/IP трафика / В. И. Ефимов, Р. Т. Файзуллин // Математические структуры и моделирование. – 2002. – № 10. – С. 170-171.

19. Анализ надежности алгоритма разделения секрета в сетевых потоках / Д. Н. Лавров [и др.] // Математические структуры и моделирование. – 2003. – № 12. – С. 146-154.

Способ пространственного сложения электромагнитных излучений когерентных источников

А. В. Чёнгин, email: alexsvist168@mail.ru
А. Ю. Козирацкий, email: aleksandrkozirackiy@mail.ru
А. А. Козирацкий, email: kozirackiy123aa@mail.ru

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. *Проведенные исследования описывают способ пространственного сложения электромагнитных излучений когерентных источников излучения. Получены аналитические выражения для расчета текущих координат точки пространства, в которой необходимо сконцентрировать плотности энергии отдельных когерентных источников для достижения режима абляции различных материалов. Определены ограничения для определения мощностных характеристик и количества когерентных источников. Представлены зависимости пропускной способности среды распространения от метеорологической дальности видимости.*

Ключевые слова: *электромагнитное излучение, когерентные источники, импульсная последовательность, ослабление, нелинейные эффекты, абляция.*

Введение

Применение электромагнитного излучения когерентных источников (лазеров) прочно вошло во все сферы деятельности человека. Лазеры применяются в промышленности, медицине, науке, связи, электронике, астрономии, сфере безопасности и многих других областях.

Для широкого круга практических задач при умеренных плотностях электромагнитной энергии взаимодействие излучения со средой не зависит от интенсивности самого излучения, и все особенности распространения света в различных средах объясняются эффектами его рассеяния и поглощения. В приземистых слоях атмосферы затухание лазерного излучения, а также возникновение нелинейных эффектов распространения играют ключевую роль в передаче энергии на большие расстояния. Целью исследования является обоснование способа пространственного сложения электро-

© Чёнгин А. В., Козирацкий А. Ю., Козирацкий А. А., 2025

магнитных излучений (ЭМИ) когерентных источников, исключающего возникновение нелинейных эффектов на трассах распространения для достижения необходимой плотности энергии в определенной точке пространства.

1. Расчет временных задержек генерации излучения

В проводимом исследовании расстояния до точки пространства, в котором необходимо сконцентрировать необходимую энергию от n когерентных источников (КИ) (расположенных на земле), составляют от 500 до 3000 метров от каждого из них. Пример расположения когерентных источников на земле относительно области сложения ЭМИ представлен на рис 1.

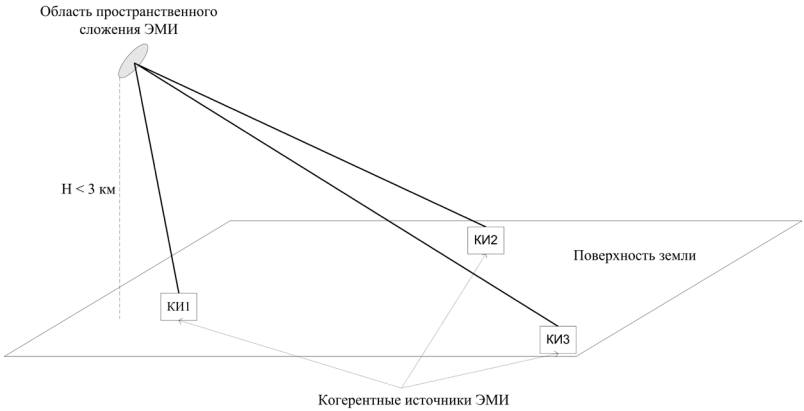


Рис. 1. Пример расположения когерентных источников относительно области сложения электромагнитных излучений

Система уравнений для вычисления пространственных координат точки сложения ЭМИ:

$$\begin{cases} L_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + z_0^2} \\ L_2 = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + z_0^2} \\ L_3 = \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + z_0^2} \end{cases}, \quad (1)$$

- L_1, L_2, L_3 – расстояния от КИ до точки пространства сложения ЭМИ;
- $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$ – координаты КИ;
- x_0, y_0, z_0 – координаты точки сложения ЭМИ.

2. Расчет энергетических параметров когерентных источников

В проводимых исследованиях КИ является углекислотный лазер, работающий в режиме модуляции добротности. В случае импульсного излучения плотность энергии лазерного излучения n-го КИ, составляет:

$$q_n \approx \frac{\left(1-k_{отр}\right)\cdot E_{имп}}{L_n^{\,2}\cdot\theta^2}, \qquad (2)$$

– $E_{имп}$ – энергия лазерного импульса;

– L_n – расстояние до цели;

– θ – угол расходимости лазерного излучения;

– $k_{отр}$ – коэффициент отражения от цели.

Для процесса поглощения энергии материалом важны длительность лазерного импульса и температуропроводность материала. Если температуропроводность материала велика, то даже за небольшое время действия лазерного импульса успевает прогреться значительная толщина приповерхностного слоя. В случае низкой температуропроводности материала вся энергия лазерного излучения выделяется в виде тепла только в том слое, где произошло поглощение излучения. Этот слой может успеть расплавиться, испариться и даже ионизироваться. Характер поведения материала стенки определяется его коэффициентом температуропроводности χ.

С помощью этого коэффициента можно определить, за какое время сможет прогреться слой вещества δ:

$$t_{прогр} = \frac{\delta^2}{\chi}. \qquad (3)$$

Импульсные режимы определяются условием $\tau_{имп} \ll t_{прогрева}$. Ключевым моментом достижения абляционного режима при воздействии лазерным излучением на материал является получение высокой пиковой мощности лазерного импульса (ЛИ). Простые оценки плотности энергии ЛИ, приходящегося на единицу поверхности материала $q_{\min}$, необходимой для испарения материала, при условии реализации абляционного режима, определяются формулой:

$$q_{\min} \approx \rho \cdot L_{исп} \cdot \delta \approx \rho \cdot L_{исп} \cdot \sqrt{\chi \cdot \tau_{имп}}, \qquad (4)$$

– ρ – плотность материала;

– $L_{исп}$ – теплота испарения;

– δ – толщина слоя материала;

– χ – коэффициент температуропроводности;

– $\tau_{имп}$ – длительность импульса.

Уникальность абляционного режима заключается в том, что величина пороговых значений мощности и энергии ЛИ слабо зависит как от свойств материала, так и от длины волны падающего излучения. Объясняется это тем, что лазерный луч только в самом начале процесса взаимодействует с материалом, нагревая и ионизируя его, в результате чего над поверхностью появляется тонкий, но плотный плазменный слой. Большая часть ЛИ поглощается именно этим, сгенерированным им самим, плотным слоем плазмы, обладающим свойством абсолютно черного тела поглощать любое падающее на него излучение [1].

Значительная база данных, накопленная в ходе экспериментальных исследований, позволила оценить пороговое значение мощности ЛИ, требуемое для достижения абляционного режима [1]. Аналитически пороговая плотность мощности лазерного излучения на цели оценивается эмпирической формулой, справедливой при длительности импульса, превышающей 10^{-12} секунды:

$$q_{\min} \approx 4,79 \cdot 10^{8} \cdot \sqrt{\tau_{имп}} \ . \qquad (5)$$

Длительность ЛИ углекислотного лазера в режиме модуляции добротности резонатора составляет порядка $\tau \sim 10^{-6}$ секунды, чему соответствует $q_{\min} \approx 10^{5}$ Дж/м^2, обеспечивающий режим абляции материалов, содержащих в своем составе углеродное волокно.

Для достижения такой плотности энергии необходимо решить задачу одновременного прихода импульсов в точку пространства от n-го количества КИ, задержки генерации ЭМИ для которых будут определяться выражением:

$$\Delta t_n = \frac{L_n - L_1}{c}, \qquad (6)$$

– L_n – расстояние от n-го источника до точки;

– L_1 – расстояние от источника 1;

– c – скорость распространения ЭМИ.

Для определения мощности каждого когерентного источника излучения, а также их количества необходимо учесть два важных фактора. Первый заключается в том, что лазерный пучок, плотность мощности которого достигает 10^{12}-10^{14} Вт/см^2, приводит к новым нелинейным эффектам, не существующим в обычной линейной оптике, например к электрическому пробою среды распространения, что

отрицательно влияет на достижение поставленного результата [2, 3]. Вторым фактором является ослабление излучения атмосферой, коэффициент которого выражается формулой:

$$G = \alpha_{am} + \alpha_{aa} + a_{sm} + \alpha_{sa}, \quad (7)$$

– α_{am} – коэффициент молекулярного поглощения излучения атмосферными газами;
– α_{aa} – коэффициент поглощения излучения атмосферным аэрозолем;
– α_{sm} – коэффициент молекулярного рассеяния;
– α_{sa} – коэффициент аэрозольного рассеяния.

Установлено, что для излучения с длиной волны λ общее ослабление в оптически однородной среде описывается экспоненциальным законом Бугера-Ламберта-Бера, условиями применения которого в общем случае являются отсутствие нелинейных взаимодействий с веществом, из которых состоит среда распространнения, а также достаточная длительность распространения в среде оптических сигналов. Экспоненциальный закон Бугера-Ламбера-Бера имеет вид:

$$\Phi_e(\lambda, l) = \Phi_{e0}(\lambda)\exp[-\alpha(\lambda)l], \quad (8)$$

– $\Phi_e(\lambda, l)$ – поток излучения, прошедший путь l;
– $\Phi_{e0}(\lambda)$ – поток излучения в начале трассы распространения;
– $\alpha(\lambda)$ – спектральный показатель ослабления.

Спектральным коэффициентом пропускания слоя среды толщиной l называют отношение потока излучения, прошедшего в среде путь l, к потоку излучения в начале трассы:

$$\tau_c(\lambda) = \Phi_e(\lambda, l) / \Phi_{e0}(\lambda), \quad (9)$$

Тогда с учетом выражения (8) получим

$$\tau_c(\lambda) = [-\alpha(\lambda)l]. \quad (10)$$

Целью исследовании является определение способа пространственного сложения ЭМИ КИ в слое атмосферы высотой до 3 км. Данный слой содержит большое количество аэрозолей, водяных паров, углекислого газа, которые оказывают большое влияние на значение спектрального коэффициента пропускания (10). Согласно методике расчета характеристик пропускания атмосферы на наклонных трассах [4, 5], коэффициент пропускания атмосферы для всей трассы определяется выражением:

$$\tau_c = \prod_{i=1}^{n} \tau_{c_i} \ . \qquad (11)$$

– τ_{c_i} – коэффициент пропускания атмосферы для горизонтальной трассы на участе i .

На основании приведенных выражений были определены зависимости спектральных коэффициентов пропускания атмосферы для расстояний 500, 1000, 1500, 3000 метров для длины волны 10,6 мкм при метеорологической дальности видимости от 7 до 25 км. Результаты отражены на рис. 2.

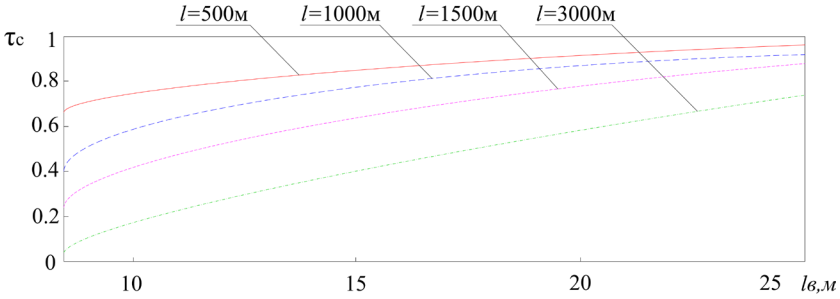


Рис. 2. Зависимости спектральных коэффициентов пропускания атмосферы от метеорологической дальности видимости

Также были определены зависимости суммарных значений потоков излучения в начале трассы распространения $\Phi_{e0}(\lambda)$ от метеорологической дальности видимости для наклонной трассы распространения l от 7 до 25 км. Полученые результаты отражают количество энергии, необходимой для испарения и плавления объекта выполненого из углерода или алюминия, соответственно, площадью 1 см и толщиной 1 мм на расстояниях 500, 1000, 1500, 3000 метров от одного КИ. Результаты исследований представлены на рис. 3, рис. 4 соответственно.

На основании полученных результатов определено время, за которое пластина из углерода площадью 1 см и толщиной 1 мм полностью испарится под воздействием ЭМИ трех КИ мощностью 50 Вт, работающих в режиме модуляции добротности, с учетом спектрального коэффициента пропускания атмосферы на наклонной трассе распространения ЭМИ. Результаты представлены на рис. 5.

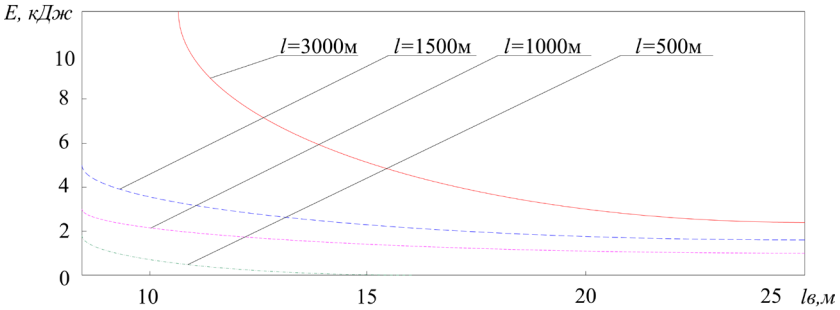


Рис. 3. Зависимость количества излученной энергии от метеорологической дальности видимости для испарения углеродной пластины

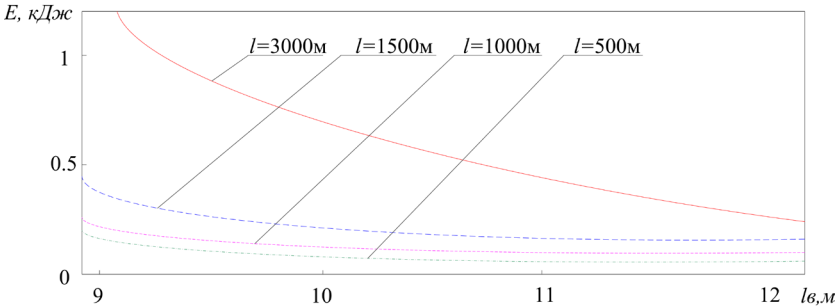


Рис. 4. Зависимость количества излученной энергии от метеорологической дальности видимости для испарения алюминиевой пластины

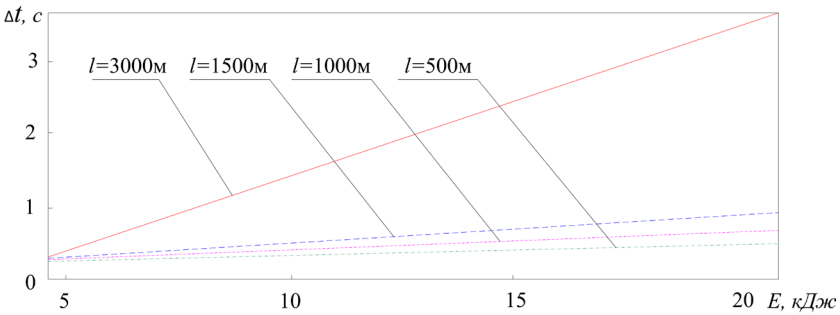


Рис. 5. Время для достижения испарения пластины из углерода

Заключение

В проведенном исследовании определен способ пространственного сложения электромагнитных излучений когерентных источников, направленный на достижение плотности энергии, позволяющей достичь режима абляции различных материалов в точках пространства атмосферы высотой до 3 км.

Представлены выражения для определения необходимой плотности энергии для достижения режима абляции материалов. Проведены исследования спектрального коэффициента пропускания среды на наклонной трассе распространения ЭМИ. Определены ограничения, определяющие мощностные характеристики и количество когерентных источников.

Литература

1. Борейшо, А. С. Лазеры: устройство и действие : учебное пособие / А. С. Борейшо, С. В. Ивакин. – СПб. : Изд. «Лань», 2016. – 304 с.
2. Либенсон, М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть II. Лазерный нагрев и разрушение материалов : учебное пособие / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина ; под общей ред. В. П. Вейко. – СПб. : НИУ ИТМО, 2014. – 181 с.
3. Беспризованных, В. Г. Нелинейная оптика : учебное пособие / В. Г. Беспризованных, В. П. Первадчук. – Пермь : Изд-во Пер. гос. Техн. Ун-та, 2011. – 200 с.
4. Оптико-электронные системы авиационного вооружения : учебник для слушателей и курсантов ВВУЗов ВВС / А. М. Краснов [и др.] ; под ред. А. М. Краснова. – М. : изд. ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2007. – 1272 с.
5. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов : монография / Ю. Л. Козирацкий [и др.] ; под ред. Ю. Л. Козирацкого. – М. : Радиотехника, 2015. – 456 с., [4] л. цв. ил. : ил.; 22 см. – (Научная серия: Математические модели конфликта и поиска).

Школа-конференция «Информатика в образовании»

Секция 1
Методика преподавания информатики

Машина Тьюринга для решения олимпиадной задачи по информатике «Лягушачьи игры»

Ю. В. Кулаков, email: kulak@list.ru

Тамбовский государственный технический университет

Аннотация. *Разработан алгоритм решения олимпиадной задачи «Лягушачьи игры», основанный на понятии машины Тьюринга, который доказывает алгоритмическую разрешимость этой задачи для всех допустимых вариантов исходной рассадки лягушек с конечным числом зелёных и коричневых лягушек.*

Ключевые слова: *олимпиадная задача «Лягушачьи игры», алгоритмическая разрешимость задачи, исходная рассадка лягушек, требуемая рассадка лягушек, машина Тьюринга, множество состояний, функциональная таблица.*

Введение

Известная олимпиадная задача по информатике и программированию «Лягушачьи игры» была предложена организаторами олимпиад в качестве одной из задач II Всероссийской заочной олимпиады по информатике [1].

Вероятно, данная олимпиадная задача была разработана на основе достаточно известной математической головоломки про шесть лягушек двух различных цветов [2], в которой нужно поменять всех лягушек местами, с расширением до любого конечного числа участвующих в ней зелёных и коричневых лягушек.

Для решения этой весьма сложной, особенно для большого числа лягушек, олимпиадной задачи ранее уже был разработан алгоритм, представляющий собой нормальный алгоритм Маркова [3].

1. Постановка олимпиадной задачи

В тридесятом царстве в новогодние праздники все лягушки собираются на самом большом болоте, чтобы поиграть в замечательную игру. Всего в этом царстве живет N зелёных лягушек и M коричневых. Для игры они выбирают на болоте N + M + 1 кочку, на первые N кочек слева садятся зелёные лягушки, а на последние M – коричневые (т. е. между ними находится одна кочка, на которой никто не сидит). Зелёные лягушки садятся лицом к коричневым лягушкам, а коричневые – к зелёным. Кочки настолько маленькие, что развернуться на них, не

© Кулаков Ю. В., 2025

свалившись в болото, совершенно невозможно. Поэтому лягушки могут двигаться только вперед и не могут разворачиваться.

На каждом ходе игры одна из лягушек перепрыгивает с той кочки, где она сидит, на свободную кочку. При этом лягушка может прыгнуть на соседнюю кочку вперед, либо перепрыгнуть через одну кочку, если соседняя занята.

Чтобы праздник удался, зелёные лягушки должны оказаться на последних кочках, а коричневые – на первых. Порядок, в котором лягушки окажутся на кочках, не важен. Так как на праздник каждый раз приходит разное количество лягушек, то им каждый год приходится придумывать очередность прыжков. Напишите программу, которая поможет лягушкам составить план прыжков.

Формат входных данных.

Во входном файле записаны два числа N и M ($1 \le N \le 1000$, $1 \le M \le 1000$) – количество зелёных и коричневых лягушек соответственно.

Формат выходных данных.

Выведите последовательность прыжков лягушек для достижения поставленной цели. Каждый прыжок можно задать одним числом – номером прыгающей лягушки (поскольку свободная кочка всегда ровно одна). Пронумеруем всех лягушек в соответствии с их начальным положением. Зелёные лягушки будут пронумерованы числами от 1 до N, а коричневые – с N + 1 до N + M в порядке слева направо.

Если же достичь требуемой рассадки лягушек нельзя, выведите одно число минус 1.

2. Машина Тьюринга для решения задачи

Заметим, что в ранее разработанном нормальном алгоритме Маркова решения олимпиадной задачи «Лягушачьи игры» [3] рассадки лягушек представлялись словами с использованием абстрактного алфавита {0, 1, 2, –}, в котором символ «0» обозначал свободную кочку; символ «1» – зелёную лягушку; символ «2» – коричневую лягушку; символ «–» обозначал свободную воду болота.

При этом были сконструированы пятнадцать входящих в его состав распознавателей вхождения ($РВ_1$ «1102», $РВ_2$ «1012», $РВ_3$ «2102», $РВ_4$ «1202», $РВ_5$ «10–», $РВ_6$ «1201», $РВ_7$ «1011», $РВ_8$ «–102», $РВ_9$ «–012», $РВ_{10}$ «–202», $РВ_{11}$ «2012», $РВ_{12}$ «120–», $РВ_{13}$ «–021», $РВ_{14}$ «101–», $РВ_{15}$ «2202») и соответственно пятнадцать операторов подстановки ($ОП_1$ = «1102 → 1012», $ОП_2$ = «1012 → 1210», $ОП_3$ = «2102 → 2120», $ОП_4$ = «1202 → 0212», $ОП_5$ = «10– → 01–», $ОП_6$ = «1201 → 0211», $ОП_7$ = «1011 → 0111», $ОП_8$ = «–102 → –012», $ОП_9$ = «–012 → –210», $ОП_{10}$ = «–202 → –220», $ОП_{11}$ = «2012 → 2210», $ОП_{12}$ = «120– → 021–», $ОП_{13}$ = «–021 → –201», $ОП_{14}$ = «101– → 011–», $ОП_{15}$ = «2202 → 2220»).

Построим машину Тьюринга, основанную на этих распознавателях вхождения и операторах подстановки.

Напомним, что машиной Тьюринга называется специальный абстрактный автомат, имитирующий алгоритмические процессы. Она состоит из информационной ленты и управляющей головки.

Информационная лента машины Тьюринга представляет собой бесконечную ленту, разделенную на ячейки. В каждую ячейку ленты помещается один символ из конечного множества символов A = {0 (свободная кочка), 1 (зелёная лягушка), 2 (коричневая лягушка), – (свободная вода болота)}, называемого внешним алфавитом машины Тьюринга.

Управляющая головка машины Тьюринга всегда находится в одном из некоторого конечного множества состояний Q = {Q0, Q1, …, Qm}, называемого внутренним алфавитом машины Тьюринга. Элемент Q0 из множества Q обозначает начальное состояние управляющей головки, а символ Qm – конечное состояние управляющей головки (машина Тьюринга выключена). Управляющая головка машины Тьюринга может считывать символ из ячейки информационной ленты и записывать символ в ячейку информационной ленты, которую управляющая головка «видит». Кроме того, управляющая головка может перемещаться вдоль информационной ленты на одну ячейку влево (Л), на одну ячейку вправо (П) или оставаться на месте (Н). Символы Л, П и Н образуют алфавит перемещений D машины Тьюринга.

Машина Тьюринга работает в дискретные моменты времени, называемые тактами. В каждый такт работы машины ее управляющая головка совершает следующие действия: 1) считывает символ Ai ∈ A, который она «видит»; 2) в соответствии со считанным символом Ai ∈ A и своим состоянием Qj ∈ Q записывает символ Ak ∈ A в эту ячейку ленты; 3) переходит в следующее состояние Qp ∈ Q; 4) перемещается или не перемещается вдоль ленты (символ Dl ∈ D).

Формирование множества состояний в общем случае является сложной задачей, которая решается не обязательно однозначно. Так как не существует общих правил её решения, часто прибегают к методу последовательных приближений путём проб и ошибок. Затраты времени на выбор множества Q зависят от интуиции исследователя и степени знания им исследуемой системы.

В нашем случае множество состояний конечного автомата A, сформированное с использованием знаний, полученных при разработке нормального алгоритма Маркова для решения задачи «Лягушачьи игры», будет множеством Q = {Q0, Q1, Q2, … , Q69}. Смысловые значения элементов этого множества представлены в табл. 1.

Таблица 1

Смысловые значения элементов множества состояний

Обозначение состояния	**Смысловое значение состояния**
Q0	Начальное состояние
Q1	Возврат к началу слова
Q2	Поиск подслова для подстановки
Q3	Найдено подслово «1»
Q4	Найдено подслово «2»
Q5	Найдено подслово «–»
Q6	Найдено подслово «11»
Q7	Найдено подслово «12»
Q8	Найдено подслово «10»
Q9	Найдено подслово «21»
Q10	Найдено подслово «22»
Q11	Найдено подслово «20»
Q12	Найдено подслово «–1»
Q13	Найдено подслово «–2»
Q14	Найдено подслово «–0»
Q15	Найдено подслово «110»
Q16	Найдено подслово «101»
Q17	Сделана одна замена подстановки «10– => 01–»
Q18	Найдено подслово «210»
Q19	Найдено подслово «220»
Q20	Найдено подслово «201»
Q21	Найдено подслово «–10»
Q22	Найдено подслово «–20»
Q23	Найдено подслово «–01»
Q24	Найдено подслово «–02»
Q25	Сделана одна замена подстановки «1102 => 1012»
Q26	Сделана одна замена подстановки «1011 => 0111»
Q27	Сделана одна замена подстановки «1012 => 1210»
Q28	Сделана одна замена подстановки «101– => 011–»
Q29	Сделаны две замены подстановки «10– => 01–»
Q30	Сделана одна замена подстановки «2102 => 2120»
Q31	Сделана одна замена подстановки «2202 => 2220»
Q32	Сделана одна замена подстановки «2012 => 2210»
Q33	Сделана одна замена подстановки «–102 => –012»

Окончание табл. 1

Обозначение состояния	**Смысловое значение состояния**
Q34	Сделана одна замена подстановки «–202 => –220»
Q35	Сделана одна замена подстановки «–012 => –210»
Q36	Сделана одна замена подстановки «–021 => –201»
Q37	Сделаны две замены подстановки «1102 => 1012»
Q38	Сделаны две замены подстановки «1011 => 0111»
Q39	Сделаны две замены подстановки «1012 => 1210»
Q40	Сделаны две замены подстановки «101– => 011–»
Q41	Сделаны две замены подстановки «2102 => 2120»
Q42	Сделаны две замены подстановки «2202 => 2220»
Q43	Сделаны две замены подстановки «2012 => 2210»
Q44	Сделаны две замены подстановки «–102 => –012»
Q45	Сделаны две замены подстановки «–202 => –220»
Q46	Сделаны две замены подстановки «–012 => –210»
Q47	Сделаны две замены подстановки «–021 => –201»
Q48	Сделаны три замены подстановки «1102 => 1012»
Q49	Сделаны три замены подстановки «1011 => 0111»
Q50	Сделаны три замены подстановки «1012 => 1210»
Q51	Сделаны три замены подстановки «101– => 011–»
Q52	Сделаны три замены подстановки «2102 => 2120»
Q53	Сделаны три замены подстановки «2202 => 2220»
Q54	Сделаны три замены подстановки «2012 => 2210»
Q55	Сделаны три замены подстановки «–102 => –012»
Q56	Сделаны три замены подстановки «–202 => –220»
Q57	Сделаны три замены подстановки «–012 => –210»
Q58	Сделаны три замены подстановки «–021 => –201»
Q59	Найдено подслово «120»
Q60	Сделана одна замена подстановки «1201 => 0211»
Q61	Сделана одна замена подстановки «1202 => 0212»
Q62	Сделана одна замена подстановки «120– => 021–»
Q63	Сделаны две замены подстановки «1201 => 0211»
Q64	Сделаны две замены подстановки «1202 => 0212»
Q65	Сделаны две замены подстановки «120– => 021–»
Q66	Сделаны три замены подстановки «1201 => 0211»
Q67	Сделаны три замены подстановки «1202 => 0212»
Q68	Сделаны три замены подстановки «120– => 021–»
Q69	Конечное состояние

Работу сконструированной машины Тьюринга охарактеризуем её функциональной таблицей (табл. 2).

Таблица 2

Функциональная таблица машины Тьюринга

Состояние	**Симв. «0»**	**Симв. «1»**	**Симв. «2»**	**Симв. «–»**
Q0		1, Л, Q1		
Q1	0, Л, Q1	1, Л, Q1	2, Л, Q1	–, П, Q5
Q2	0, П, Q2	1, П, Q3	2, П, Q4	–, П, Q5
Q3	0, П, Q8	1, П, Q6	2, П, Q7	–, П, Q5
Q4	0, П, Q11	1, П, Q9	2, П, Q10	–, П, Q5
Q5	0, П, Q14	1, П, Q12	2, П, Q13	–, Н, Q69
Q6	0, П, Q15	1, П, Q6	2, П, Q7	–, П, Q5
Q7	0, П, Q59	1, П, Q9	2, П, Q10	–, П, Q5
Q8	0, П, Q2	1, П, Q16	2, П, Q4	–, Л, Q17
Q9	0, П, Q18	1, П, Q6	2, П, Q7	–, П, Q5
Q10	0, П, Q19	1, П, Q9	2, П, Q10	–, П, Q5
Q11	0, П, Q2	1, П, Q20	2, П, Q4	–, П, Q5
Q12	0, П, Q21	1, П, Q6	2, П, Q7	–, П, Q5
Q13	0, П, Q22	1, П, Q9	2, П, Q10	–, П, Q5
Q14	0, П, Q2	1, П, Q23	2, П, Q24	–, П, Q5
Q15	0, П, Q2	1, П, Q16	2, Л, Q25	–, Л, Q17
Q16	0, П, Q8	1, Л, Q26	0, Л, Q27	–, Л, Q28
Q17	1, Л, Q29			
Q18	0, П, Q2	1, П, Q16	0, Л, Q30	–, Л, Q17
Q19	0, П, Q2	1, П, Q20	0, Л, Q31	–, П, Q5
Q20	0, П, Q8	1, П, Q6	0, Л, Q32	–, П, Q5
Q21	0, П, Q2	1, П, Q16	2, Л, Q33	–, Л, Q17
Q22	0, П, Q2	1, П, Q20	0, Л, Q34	–, П, Q5
Q23	0, П, Q8	1, П, Q6	0, Л, Q35	–, П, Q5
Q24	0, П, Q11	1, Л, Q36	2, П, Q10	–, П, Q5
Q25	1, Л, Q37			
Q26		1, Л, Q38		
Q27		1, Л, Q39		
Q28		1, Л, Q40		
Q29		0, Л, Q1		
Q30	2, Л, Q41			
Q31	2, Л, Q42			
Q32		1, Л, Q43		

Окончание табл. 2

Состояние	Симв. «0»	Симв. «1»	Симв. «2»	Симв. «–»
Q33	1, Л, Q44			
Q34	2, Л, Q45			
Q35		1, Л, Q46		
Q36			0, Л, Q47	
Q37		0, Л, Q48		
Q38	1, Л, Q49			
Q39	2, Л, Q50			
Q40	1, Л, Q51			
Q41		1, Л, Q52		
Q42			2, Л, Q53	
Q43	2, Л, Q54			
Q44		0, Л, Q55		
Q45			2, Л, Q56	
Q46	2, Л, Q57			
Q47	2, Л, Q58			
Q48		1, Л, Q1		
Q49		0, Л, Q1		
Q50		1, Л, Q1		
Q51		0, Л, Q1		
Q52			2, Л, Q1	
Q53			2, Л, Q1	
Q54			2, Л, Q1	
Q55				–, П, Q5
Q56				–, П, Q5
Q57				–, П, Q5
Q58				–, П, Q5
Q59	0, П, Q2	1, Л, Q60	2, Л, Q61	–, Л, Q62
Q60	1, Л, Q63			
Q61	1, Л, Q64			
Q62	1, Л, Q65			
Q63			2, Л, Q66	
Q64			2, Л, Q67	
Q65			2, Л, Q68	
Q66		0, Л, Q1		
Q67		0, Л, Q1		
Q68		0, Л, Q1		
Q69				–, Н, Q69

3. Программная реализация сконструированной машины Тьюринга

Сконструированная машина Тьюринга для решения олимпиадной задачи по информатике «Лягушачьи игры» реализована в виде программы на алгоритмическом языке Си.

При решении задачи размерности 3 × 3 по этой программе конечная рассадка лягушек достигается за 175 тактов работы машины.

В начальной конфигурации машины её управляющая головка должна находиться в состоянии Q0 и видеть одну из зелёных лягушек, например ту, которая сидит непосредственно перед свободной кочкой болота. Скриншот начальной конфигурации представлен на рис. 1.

```
–  –  –  –  1  1  1  0  2  2  2  –  –  –  –
            Q 0
```

Рис. 1. Начальная конфигурация машины Тьюринга

Тогда, последовательно выполняя команды (1, Л, Q1), (1, Л, Q1) и (1, Л, Q1), управляющая головка попадает в состояние возврата к началу слова и, двигаясь влево, обнаруживает свободную воду болота (рис. 2).

```
–  –  –  –  1  1  1  0  2  2  2  –  –  –  –
         Q 1
```

Рис. 2. Конфигурация машины после трёх тактов работы

Затем управляющая головка, последовательно выполняя команды (–, П, Q5), (1, П, Q12), (1, П, Q6), (1, П, Q6) и (0, П, Q15), обнаруживает на информационной ленте подслова «–»,«–1», «11» и «110» (рис. 3).

```
–  –  –  –  1  1  1  0  2  2  2  –  –  –  –
                     Q15
```

Рис. 3. Конфигурация машины после восьми тактов работы

Находясь в состоянии Q15 и видя при этом символ «2», управляющая головка машины «понимает», что обнаружила подслово «1102», которое совпадает в левой частью подстановки из оператора подстановки $ОП_1$ = «1102 → 1012» нормального алгоритма Маркова. Поэтому далее она начинает реализовывать эту подстановку, последовательно выполняя команды (2, Л, Q25), (1, Л, Q37) и (0, Л, Q48), как следует из конфигурации на рис. 4. Таким образом, рассуждая в терминах олимпиадной задачи, осуществляется первый прыжок лягушек – зелёная лягушка прыгнула на свободную кочку.

```
–  –  –  –  1  1  0  1  2  2  2  –  –  –  –
                Q48
```

Рис. 4. Конфигурация машины после 11 тактов работы

Далее, выполнив два раза подряд команду (1, Л, Q1), управляющая головка завершает реализацию подстановки «1102 → 1012» и, продолжив движение влево, во второй раз возвращается к началу слова, обнаружив слева от лягушек свободную воду болота (рис. 5).

```
–  –  –  –  1  1  0  1  2  2  2  –  –  –  –
         Q 1
```

Рис. 5. Конфигурация машины после 13 тактов работы

Затем управляющая головка машины, последовательно выполняя команды (–, П, Q5), (1, П, Q12), (1, П, Q6), (0, П, Q15) и (1, П, Q16), постепенно перемещается вправо обнаруживает на информационной ленте подслова «–», «–1», «11», «110» и «101» (рис. 6).

```
–  –  –  –  1  1  0  1  2  2  2  –  –  –  –
                        Q16
```

Рис. 6. Конфигурация машины после 18 тактов работы

Теперь, находясь в состоянии Q16 и видя при этом символ «2», управляющая головка «понимает», что обнаружила подслово «1012», которое совпадает в левой частью подстановки из оператора подстановки $ОП_2$ = «1012 → 1210» нормального алгоритма Маркова. Поэтому далее она начинает реализовывать эту подстановку, последовательно выполняя команды (0, Л, Q27), (1, Л, Q39) и (2, Л, Q50), как следует из конфигурации на рис. 7. Таким образом, рассуждая в терминах олимпиадной задачи, осуществился второй прыжок лягушек – коричневая лягушка перепрыгнула через зелёную лягушку и приземлилась на свободную кочку.

```
–  –  –  –  1  1  2  1  0  2  2  –  –  –  –
               Q50
```

Рис. 7. Конфигурация машины после 21 такта работы

Далее, выполнив два раза подряд команду (1, Л, Q1), управляющая головка завершает реализацию подстановки «1012 → 1210» и, продолжив движение влево, в третий раз возвращается к началу слова, обнаружив слева от лягушек свободную воду болота (рис. 8).

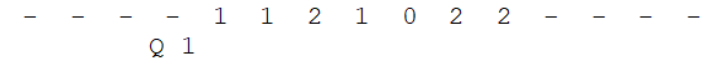


Рис. 8. Конфигурация машины после 23 тактов работы

Затем, действуя аналогичным образом, управляющая головка реализует подстановки ОП3, ОП4, ОП4, ОП8, ОП9, ОП2, ОП2, ОП5, ОП6, ОП4, ОП10, ОП11 и ОП7, что в итоге приводит к заключительной конфигурации машины Тьюринга (рис. 9), моделирующей требуемую конечную рассадку трёх зелёных и трёх коричневых лягушек.



Рис. 9. Конфигурация машины после 175 тактов работы

Заключение

Разработанная машина Тьюринга для решения олимпиадной задачи «Лягушачьи игры» доказывает алгоритмическую разрешимость этой задачи, под которой понимается достижение требуемой конечной рассадки лягушек для всех допустимых вариантов исходной рассадки лягушек с конечным числом зелёных и коричневых лягушек.

Решение данной олимпиадной задачи может быть использовано учащимися при подготовке к участию в олимпиадах по информатике и программированию, при изучении темы «Машина Тьюринга» в курсе информатики и при подготовке к сдаче Единого государственного экзамена по информатике.

Список литературы

1. Олимпиады по программированию. II Всероссийская заочная олимпиада школьников по информатике [Электронный ресурс]: Задача K. Лягушачьи игры. – Режим доступа: https://www.olympiads.ru/zaoch/2007/problems/k.shtml

2. Блог вебмастера [Электронный ресурс]: Шесть лягушек поменять местами. – Режим доступа: https://teh-fed.ru/6-ljagushek-pomenjat-mestami/

3. Кулаков, Ю. В. Нормальный алгоритм Маркова для решения олимпиадной задачи «Лягушачьи игры» / Ю. В. Кулаков // Информатика: проблемы, методы, технологии: сборник материалов XXIII международной научно-практической конференции / под редакцией Д. Н. Борисова; Воронеж, Воронежский государственный университет, 15-17 февраля 2023 г. – Воронеж: ВГУ, 2023. – С. 1191-1200.

Концептуальная методика преподавания основных понятий информационных технологий

А. Б. Мосягин, email: mosyagin-ab@ranepa.ru

Президентская Академия ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ»

Аннотация. *Предлагается концепция методики преподавания базовых понятий информационных технологий с использованием онлайн технологий и средств СДО, реализуемая с 1-го по 4 семестры, и формирующая профессионально-ориентированный образовательный контент различных гуманитарных направлений.*

Ключевые слова: *образовательные технологии, обучаемые, семестр, информационные технологии.*

Введение

Дисциплины, связанные с изучением информационных технологий (ИТ), прочно вошли во все образовательные стандарты обучаемых гуманитарного блока. В системе профессионального образования им отводится значительная часть учебных планов: они входят как в базовую, так и вариативную части блоков гуманитарных направлений и направленностей.

В настоящее время при реализации образовательного процесса ВУЗы сталкиваются с проблемой обеспечения компьютерными классами обучаемых, приобретением лицензионного программного обеспечения, техническим сопровождением, обслуживанием программно-технического обеспечения образовательного процесса. Особенно это проявляется на 1, 2 курсах, так как, например, «информатика», «информационные технологии» встречаются в базовой части практически всех направлений. При этом освоение соответствующих компетенций осуществляется посредством практических и лабораторных занятий.

Частичным решением этих проблем становится организация обучения базовой части основных дисциплин гуманитарного направления в режиме онлайн с применением средств СДО.

1. Обучение ИТ на 1 и 2 курсах

Практически все компетенции образовательных стандартов различных гуманитарных направлений требуют научить обучаемого

© Мосягин А. Б., 2025

владеть, использовать, применять информационные технологии в профессиональной деятельности [1]. А это достигается ничем иным, как знаниями, умениями, навыками применения соответствующего инструментария современного программно-технического обеспечения.

Предлагаю базовую часть основных дисциплин, связанных с ИТ, ограничить первыми четырьмя семестрами и полностью отказаться от компьютерных классов, организуя обучение в режиме онлайн с применением СДО. Независимо от существующих названий дисциплин в реализуемых учебных планах посвятить:

Первый семестр пакету прикладных программ MS Office, либо его аналогам и свободно распространяемым пакетам (например, OpenOffice). При этом обучаемые овладевают технологиями разработки полноценных составных документов в текстовом процессоре; встроенными функциями с автоматизацией с помощью макросов расчетных практических задач экономической направленности, визуализации представления данных, фильтрации и взаимодействия в табличном процессоре; понятиями о системах управления базами данных – работа с таблицами, запросами, формами, отчетами, встроенными модулями макрокоманд; графическими возможностями пакетов; простейшими операциями верстки документов; разработки презентаций с внедрением объектов мультимедиа; использования служб для сопровождения повседневной профессиональной деятельности, планирования, организации собраний, задач, создания форм в личных кабинетах информационного портала Академии.

Второй семестр технологиям компьютерной графики с изучением инструментов разработки изображений 2D и 3D, анимации и видео фрагментов. Здесь же можно предлагать в вариативной части дисциплину «Основы программирования», давая в ней базовые понятия алгоритмизации, объектно-ориентированного программирования с практическими задачками в средствах визуального проектирования основных широко распространенных языков.

Третий семестр – проектированию. Здесь необходимо познакомить обучаемых с информационным обеспечением процессов разработки и сопровождения проектов, процессным подходом для представления деятельности организации в виде последовательной реализации основных бизнес-процессов.

Четвертый семестр – интернет-технологиям. Сюда можно включить организацию поиска информации, клиент-серверные технологии взаимодействия с пользователем, особенности работы с гипертекстовыми документами, системы управления контентом, разработка инфографических статических и динамических объектов,

проблемы обеспечения информационной безопасности, цифрового следа и цифровой репутации, использования средств искусственного интеллекта.

Как правило, все дисциплины ИТ обеспечиваются практическими и лабораторными занятиями и связаны с выполнением конкретных задач, кейсов, модулей, тестов, разработанных преподавателями. Контактная работа с обучаемым ограничена постановкой проблемы, совместной разработкой сценария ее решения, выбором инструментария и самостоятельной реализацией с консультативной поддержкой при постоянном файловом обмене. Эти потребности полностью обеспечиваются предложенными Академией коммуникативными средствами МТС-линк, Яндекс-телепорт. Любая из дисциплин предложенного блока также может быть реализована средствами СДО. Наполнение, структура и содержание легко адаптируется к требованиям руководителей и регламентирующей документации реализуемой программы.

Все программное обеспечение с соответствующим инструментарием существует в пакетных версиях, не требующих установки в операционную систему, альтернативных свободно распространяемых программных продуктах, онлайн версиях реализуемых технологий.

Дальнейшее обучение ИТ в зависимости от выбранного направления может быть расширено за счет изучения средств компьютерного моделирования, анализа данных, прикладного программирования, машинного обучения и пр.

Таким образом, делается попытка унификации обучения ИТ в рамках Академии и ее филиалов без потери качества, выработки общих требований к преподаванию базовых дисциплин, экономии средств на организацию и обслуживание компьютерных классов, которых как раз и не хватает из-за большого количества обучаемых на 1 и 2 курсах.

Заключение

Предлагаемая концепция методики преподавания позволит ВУЗам полностью решить проблему материального обеспечения процессов обучения базовым понятия ИТ обучаемых 1 и 2 курсов, повысить эффективность учебного планирования, составления расписаний за счет возможности модульного и сменного распределения профессионально-ориентированного образовательного контента по аудиторному фонду.

Облегчит восприятие обучаемым содержимого дисциплин за счет расширяющейся зоны временных рамок, организации самостоятельной работы и выбора семантической сложности усвоения материала,

повысит профессиональные навыки в овладении программно-техническими средствами.

Унификация и единый подход к реализации образовательного контента дисциплин ИТ на 1, 2 курсах в рамках только одного ВУЗа позволит дополнительно обеспечить выходные знания, умения, навыки обучаемым, упростит процесс контроля и аттестации, разработку учебно-методической литературы.

Список литературы

1. Современные педагогические технологии в контексте ФГОС третьего поколения : учебно-методическое пособие / И. М. Швец, Л. М. Левина, В. В. Марико, Е. Ю. Грудзинская. – Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2010. – 127 с.

Технология обучения в сотрудничестве на уроках информатики

М. Е. Старикова, email: starik-marina@yandex.ru

МАОУ Гимназия № 2 г. Южно-Сахалинска

Аннотация. *В данной работе рассматриваются особенности технологии обучения в сотрудничестве, раскрывается специфика использования технологии обучения в сотрудничестве на уроках информатики.*

Ключевые слова: *обучение в сотрудничестве, сотрудничество.*

Введение

Сегодня перед учителем ставятся задачи, направленные на формирование личности умеющей учиться. Новые социальные запросы заставляют отказаться от традиционных методов обучения, появляется необходимость осваивать новые развивающие общеобразовательные технологии. Школьник должен перейти из пассивного обучающегося в действенный субъект учения.

1. Обучение в сотрудничестве на уроках информатики

Педагогика сотрудничества соотносится с модернизацией российского образования, наиболее полно отвечает запросам нашего времени. Обучение в сотрудничестве связано с организацией обучения учащихся в составе малых учебных групп.

Обучение в сотрудничестве – это совместное (поделенное, распределенное) обучение, в результате которого учащиеся работают вместе, коллективно конструируя, продуцируя новые знания, а не потребляя их в уже готовом виде [1].

Возможности учебного сотрудничества:

– позволяет дать учащемуся эмоциональную и содержательную поддержку, возможность утвердиться в себе;

– позволяет реализовать продвижение каждого учащегося в процессе обучения со скоростью, определяемой его индивидуальными способностями;

– развивает коммуникативные и личностные универсальные учебные действия;

– формирует потребность к учебной самостоятельности и умение активно воспринимать, усваивать и передавать информацию;

© Старикова М. Е., 2025

– обеспечивает высокую интенсивность обучения;

– повышает интеллектуальный уровень развития учащихся;

– позволяет дать учащемуся опыт выполнения тех универсальных учебных действий, которые составляют основу умения учиться (функций контроля и оценки, целеполагания и планирования);

– создает условия для естественного развития познавательных и творческих способностей учащихся [2].

В педагогике выделяют несколько форм учебного сотрудничества:

1. Сотрудничество с учителем.
2. Сотрудничество со сверстниками
3. Сотрудничество с самим собой.

Динамику форм учебного сотрудничества рассматривают как последовательное движение ученика: от сотрудничества со сверстниками, к сотрудничеству с учителем и далее – к сотрудничеству с самим собой.

В сотрудничестве со сверстниками дети учатся помогать товарищу, обращаться за помощью друг к другу, формулировать свою точку зрения, выяснять точку зрения своих партнеров, обнаруживать разницу точек зрения, пытаться разрешить разногласия с помощью аргументов. Сотрудничество со сверстниками необходимо для формирования способности строить своё действие с учётом действий партнёра; понимать и принимать мнение друг друга; уметь учитывать индивидуальное эмоциональное состояние партнёров; обладать инициативностью, способностью добывать информацию; уметь решать конфликт, проявляя самокритичность и дружелюбие к участникам своей группы. Успех всей группы зависит от вклада каждого участника, что предусматривает помощь каждого члена команды друг другу. Каждый ученик учится в силу собственных возможностей и потому имеет шанс оценивать себя наравне с другими.

При учебном сотрудничестве со сверстниками прямая помощь учителя вредна, так как он берёт на себя рефлексивную часть работы.

Сотрудничество со сверстником предполагает умение сотрудничать с учителем. Ситуации учебного сотрудничества с педагогом возникают, когда учащийся при решении практической задачи замечает причины своей некомпетентности, осознаёт, что ему не хватает определённых знаний или способов действий. Ребёнок формулирует вопрос о конкретной помощи, которая ему необходима для решения задания и обращается к учителю. Таким образом, он становится субъектом учебной деятельности, умеющим учить себя с помощью учителя. Учитель вступает в сотрудничество с учащимся только по его инициативе, по запросу о конкретной помощи, делает всё возможное,

чтобы ребёнок смог сформулировать свой вопрос на языке содержания учебного предмета. Необходимо организовывать учебное сотрудничество таким образом, чтобы оно включало все формы взаимодействия обучения – и сотрудничество ребёнка с учителем, и с другими учениками, и с самим собой. Умение ученика вступать в отношения сотрудничества становится условием формирования ребёнка как субъекта учебной деятельности, способного к самообразованию и самовоспитанию.

Главными особенностями организации групповой работы учащихся на уроке являются:

– деление класса на группы для решения конкретных учебных задач;

– выполнение полученного задания группой сообща под непосредственным руководством лидера группы или учителя (задания могут быть либо одинаковыми, либо дифференцированными);

– задания в группе выполняются таким способом, который позволяет учитывать и оценивать индивидуальный вклад каждого члена группы;

– группа подбирается с учетом того, чтобы с максимальной эффективностью для коллектива могли реализоваться учебные возможности каждого члена группы, в зависимости от содержания и характера предстоящей работы.

Информатика и ИКТ, как учебный предмет, предоставляет большие возможности для реализации технологии обучения в сотрудничестве, особенно при делении класса на подгруппы. Для организации обучения в сотрудничестве необходимо:

– изначально установить уважительные отношения;

– настроить учащихся на активную творческую совместную работу;

– недопустимо собирать в малую группу только слабых или сильных учеников;

– нежелательно принуждать ученика работать в группе, если он отказывается принимать участие в совместной работе;

– допускается шумная обстановка в кабинете;

– следует оговорить время, отведённое на задание.

Все это позволит обучаться учащимся в непринуждённой обстановке, в которой они не испытывают психологической скованности и дискомфорта (особенно дети с низкой скоростью работы на ПК). Следовательно, каждый ученик может привнести что-то новое в этот вид деятельности, он может раскрыться в процессе взаимодействия с другими людьми.

Руководителей групп и их состав лучше подбирать по принципу объединения учеников разного уровня знаний и навыками работы на ПК, информированности по предмету, совместимости учащихся, обязательно девочки и мальчики, что позволяет взаимно дополнять и обогащать друг друга. В процессе работы возникает чувство сотрудничества, взаимной поддержки. Учебные задания подбираются таким образом, что все члены команды оказываются взаимосвязанными, но достаточно самостоятельными в овладении материалом и решении задач. Учитель оказывается в роли наблюдателя. При необходимости может больше внимания уделить отдельным ученикам или группе.

Если одаренный ученик затрачивает определенные усилия для достижения своего уровня, а слабый ученик затрачивает также максимум усилий для достижения своего уровня, то будет справедливо, если их усилия (в группе) будут оценены одинаково при условии, что в обоих случаях каждый сделал, что мог. Можно и лучше оценивать работу не одного ученика, а всей группы. На таких уроках оцениваются не столько знания, сколько старания и усилия учеников. На промежуточном этапе работы результаты труда каждого члена группы может оценивать лидер группы. Как правило, учитель выбирает учащегося из каждой группы, который должен отчитаться за выполненную работу. И это необязательно сильный ученик.

При таких формах работы ученики добиваются поставленной цели, сотрудничая друг с другом. На таких уроках работают все учащиеся. Они учатся слушать и слышать. Каждый чувствует себя раскованно. Каждый получает возможность реализовываться в том, что является его сильной стороной, и получить помощь в том, в чём он слабее других. Практика показывает, что сильные ученики зачастую обладают низкими навыками и скоростью работы на ПК, а слабые наоборот. Ученики учатся работать совместно с товарищами, без контроля со стороны учителя, учатся находить компромиссы, стремясь к поставленной цели.

Заключение

Групповая форма организации учебного труда способствует повышению мотивации к учению, учит объективно оценивать себя и других, повышает деловой статус ученика в коллективе, разнообразит урок, формирует культуру общения.

Список литературы

1. Дьяченко В. К. Коллективный способ обучения. Дидактика в диалогах. М.: Народное образование, 2004. – 352 с.
2. Селевко Г. К. Современные образовательные технологии: Учебное пособие. – М.: Народное образование, 1998. – 256 с.

Секция 2
ЕГЭ по информатике

Информатика: решение задания высокого уровня сложности на рекурсивную функцию

Е. А. Алефиренко, email: alefirenkoea@mgpu.ru

Институт развития профильного обучения, Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы «Московский городской педагогический университет»

Аннотация. *В статье предложено альтернативное решение задания 16 на рекурсивную функцию, которое относится к заданиям высокого уровня сложности тренировочной работы СтатГрад №3 по информатике для 11 класса от 8 февраля 2022 года, вариант ИН2110301. Представлены переборные способы решения, завершающиеся ошибкой, на базе использования программного кода которых обнаружена закономерность для эффективного решения, не основанного на использовании двоичной системы счисления.*

Ключевые слова: *информатика, рекурсия, рекурсивная функция, рекуррентная формула, рекурсия в КЕГЭ, КЕГЭ по информатике.*

Введение

Задание 16 тренировочной работы СтатГрад № 3 по информатике для 11 класса в формате КЕГЭ 2021-2022 уч. г. [1, с. 12] обычно решается различными авторами посредством применения двоичной системы счисления [2, 3]. В данной статье предложены альтернативные методы решения данного задания, не использующие двоичную систему счисления.

Рекурсия, рекурсивные вычисления, определение и использование рекурсивных функций включены в содержание учебного предмета «Информатика» как на базовом, так и на углублённом уровнях и содержание КИМ ЕГЭ по информатике [4]. Некоторые другие экзаменационные задания также могут быть решены методами, основанными на использовании рекурсии [5]. На базе рекурсии возможно изучение углублённого предметного содержания, например, мемоизации [6] и теории сложности вычислений [7].

Изучение различных методов решения задач в области программирования способствует формированию предпрофессиональных компетенций, знаний и навыков углублённого уровня, глубокому пониманию предмета.

© Алефиренко Е. А., 2025

1. Формулировка задания

Алгоритм вычисления значения функции F(n), где n – целое неотрицательное число, задан следующими соотношениями:

F(0) = 0;

F(n) = F(n – 1) + 1, если n нечётно;

F(n) = F(n/2), если n > 0 и при этом n чётно.

Укажите количество таких значений n < 1 000 000 000, для которых F(n) = 2. [1, с. 12]

2. От классического алгоритма решения к эффективному

Программа, реализующая классический способ решения, задающая рекурсивную функцию и перебирающая значения возможных аргументов n от 1 до 999999999 включительно, не приведёт к решению рассмотренного задания ввиду потенциального слишком долгого выполнения (рис. 1). Более того, выполнение данной программы завершится ошибкой.

```
1  def F(n):
2      if n == 0:
3          return 0
4      if n % 2 == 1:
5          return F(n - 1) + 1
6      if n > 0 and n % 2 == 0:
7          return F(n / 2)
8
9  K = 0
10 for n in range(1_000_000_000):
11     Fn = F(n)
12     if Fn == 2:
13         K += 1
14 print(K)
```

Рис. 1. Программный код на языке Python для решения задания полным перебором возможных аргументов n

Ускорить решение задания может использование мемоизации [6], реализуемой декоратором lru_cache (рис. 2), однако в этом случае возникнет ошибка MemoryError. Использование функции sys.setrecursionlimit(), устанавливающей максимальную глубину стека, также не позволяет получить ответ.

```python
from functools import lru_cache
@lru_cache(None)

def F(n):
    if n == 0:
        return 0
    if n % 2 == 1:
        return F(n - 1) + 1
    if n > 0 and n % 2 == 0:
        return F(n / 2)

K = 0
for n in range(1_000_000_000):
    Fn = F(n)
    if Fn == 2:
        K += 1
print(K)
```

Рис. 2. Программа на языке Python с использованием мемоизации не помогает избежать ошибки MemoryError

```python
from functools import lru_cache
@lru_cache(None)

def F(n):
    if n == 0:
        return 0
    if n % 2 == 1:
        return F(n - 1) + 1
    if n > 0 and n % 2 == 0:
        return F(n / 2)

for n in range(1_000):
    Fn = F(n)
    if Fn == 2:
        print(n, Fn)
```

Рис. 3. Программа на языке Python, выводящая n в диапазоне от 0 до 999, для которых F(n) = 2

Решения задания, приводимые в [2, 3], опираются на использование двоичной системы счисления, что зачастую не является очевидным для обучающихся. Уменьшив количество итераций цикла for, можно вывести все значения n, например, от 0 до 999, для которых F(n) = 2, после чего определить закономерность для тех аргументов n

функции, для которых F(n) = 2 (рис. 3). Найденными значениями n в указанном промежутке являются: 3, 5, 6, 9, 10, 12, 17, 18, 20, 24, 33, 34, 36, 40, 48, 65, 66, 68, 72, 80, 96, 129, 130, 132, 136, 144, 160, 192, 257, 258, 260, 264, 272, 288, 320, 384, 513, 514, 516, 520, 528, 544, 576, 640, 768.

Часть перечисленных чисел n (3, 5, 9, 17, 33, 65, 129, 257, 513) превышают степени числа 2 на 1, причём все вышеперечисленные нечётные числа из списка вычисляются как 2x + 1. Поскольку F(0) = 0 и F(1) = F(0) + 1 = 1, функция от степени числа 2 всегда будет равна 1: F(2) = F(1) = 1, F(4) = F(2) = 1, F(8) = F(4) = 1, F(16) = F(8) = 1, F(32) = F(16) = 1 и так далее. Числа n, на единицу большие степеней числа 2, являются нечётными и вычисляются по рекуррентной формуле F(n) = F(n – 1) + 1, следовательно, для всех таких чисел F(n) = 1 + 1 = 2.

Все чётные числа из списка получены по рекуррентной формуле F(n) = F(n/2), то есть значения функции от таких чисел n равны значению функции от n/2. Таким образом, F(n) = 2 для всех чисел n, полученных умножением на 2 чисел n/2, для которых F(n/2) = 2. Для всех чисел в следующих цепочках F(n) = 2: 3 → 6 → 12 → 24 → 48 → 96 → 192 → 384 → 768 → …, 5 → 10 → 20 → 40 → 80 → 160 → 320 → 640 → … Каждое следующее число в каждой цепочке удваивается.

Эффективная программа для реализации подсчёта указанных чисел представлена на рис. 4.

```
1  s = set()
2
3  for x in range(1, 30):
4      s.add(2 ** x + 1)
5
6  for item in list(s):
7      x = item
8      while x <= 500_000_000:
9          x *= 2
10         s.add(x)
11 print(len(s))
```

Рис. 4. Эффективная программа на языке Python для решения задания

В первом цикле представленной программы в множество [8] s сохраняются все числа, превосходящие на 1 степени числа 2 до 229 + 1 = 536870913, поскольку следующая степень числа 2 превосходит 1000000000. Во втором цикле происходит вычисление и запись в множество s всех чисел вида 2×(2x+1), 2×2×(2x+1), 2×2×2×(2x+1), …,

причём все получаемые числа меньше 1000000000. Количество чисел в множестве s является результатом работы программы и ответом на предложенное задание: len(s) = 435.

Заключение

В статье предложен новый эффективный алгоритм решения задания высокого уровня сложности на анализ результата работы рекурсивной функции для большого количества её аргументов. Приведены программные коды для классического способа решения задания, не способные дать ответ. Показан ход рассуждений для реализации предложенного эффективного алгоритма.

Список литературы

1. СтатГрад. Тренировочная работа №3 по информатике. 11 класс. 8 февраля 2022 года. Вариант ИН2110301. – 18 с.
2. Решу ЕГЭ. Информатика. Задание № 46974 [Электронный ресурс]. – URL: https://inf-ege.sdamgia.ru/problem?id=46974 (дата обращения: 10.01.2025).
3. AlexMath. Информатика. ЕГЭ. Задание 16. СтатГрад-22-3-1 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.alex-math.ru/gia/show/zadaniye-16-informatika-statgrad-22-3-1/ (дата обращения: 10.01.2025).
4. Попов, В. С. Декомпозиция в компетентностно-ориентированном подходе на примере изучения рекурсивных функций / В. С. Попов, Л. А. Абросимова-Романова // Традиции и новации в профессиональной подготовке и деятельности педагога : Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции, посвященной Году семьи, Тверь, 28–30 марта 2024 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2024. – С. 195-200. – EDN JFSUVI.
5. Попов, В. С. Рекурсивная функция для решения задания на динамическое программирование: от беззнаниевой формы компетенции к знанию и пониманию / В. С. Попов, Е. А. Алефиренко, Л. Ю. Черницына // Информатика в школе. – 2024. – Т. 23, № 5. – С. 85-94. – DOI: 10.32517/2221-1993-2024-23-5-85-94. – EDN MDGTEQ.
6. Попов, В. С. Углубленный уровень изучения принципов компьютерных вычислений в контексте компетентностного подхода в школе: организация мемоизации для оптимизации рекурсии / В. С. Попов // Современное педагогическое образование. – 2024. – № 9. – С. 56-61. – DOI: 10.24412/2587-8328-2024-9-56-61. – EDN COXVUP.
7. Попов, В. С. Эмпирическое исследование времени выполнения рекурсивных функций и развитие STEM-компетенций / В.

С. Попов // Информатика в школе. – 2024. – Т. 23, № 3. – С. 5-14. – DOI: 10.32517/2221-1993-2024-23-3-5-14. – EDN OBJXBF.

8. Попов, В. С. Пропедевтика структур данных в школьном курсе информатики как средство формирования цифровых предпрофессиональных компетенций: предметное содержание и требования / В. С. Попов, Е. А. Алефиренко, Л. Ю. Черницына // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XX Международной научно-практической конференции (20–22 ноября 2024 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр (ИП Бочкарева В.М.), ТУСУР, 2024. – С. 143-146.

Распределительный закон алгебры логики при аналитическом решении задания 2 КЕГЭ по информатике

Е. А. Алефиренко, email: alefirenkoea@mgpu.ru

Институт развития профильного обучения, Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы «Московский городской педагогический университет»

Аннотация. *В статье рассмотрен пример применения распределительного закона алгебры логики для аналитического решения задания 2 КЕГЭ по информатике.*

Ключевые слова: *логика, алгебра логики, законы логики, дистрибутивность, распределительный закон, законы де Моргана.*

Введение

Переход на компьютерную форму проведения единого государственного экзамена (КЕГЭ) по информатике в 2021 году способствовал выбору обучающимися программного способа составления таблиц истинности как основного при решении задания 2 экзаменационных вариантов. Для всех комбинаций входных переменных, обычно получаемых во вложенных циклах, программа вычисляет значение логической функции, выводя на экран таблицу истинности, в каждой строке которой указаны значения логических переменных и соответствующее значение логической функции [1]. Обучающимся остаётся только корректно соотнести заданную частично заполненную таблицу истинности с результатом работы написанной программы и определить порядок следования логических переменных. Полученный ответ также может быть легко проверен с использованием программного кода [2].

В то же время решение логических задач аналитическими методами без использования компьютера способствует повышению внимательности и аккуратности [3], а также формированию предпрофессиональных компетенций в области анализа, систематизации и обобщения [4, с. 90; 5, с. 79], мышления; позволяет решить некоторые задачи, не имеющие простого решения с использованием переборных алгоритмов [1, с. 1224]. Изучение логики как основы компьютерных вычислений имеет особое значение в рамках профильного обучения информатике [6; 7].

© Алефиренко Е. А., 2025

В статье на примере аналитического решения логического задания 2 ЕГЭ по информатике показана необходимость изучения законов алгебры логики, в том числе относительно редко применяющегося распределительного закона. Аналитический способ решения задания в дополнение к программному не только позволяет обучающимся произвести проверку полученного решения, уменьшив вероятность допущения ошибки [8, с. 51], но и получить знания и умения в области логики, а также сформировать соответствующие предпрофессиональные навыки и компетенции.

1. Распределительный закон в алгебре логики

Свойство дистрибутивности, также называемое распределительным законом, в логике высказываний может быть записано в виде:

$$A \wedge (B \vee C) \equiv (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$$
$$A \vee (B \wedge C) \equiv (A \vee B) \wedge (A \vee C)$$

Хотя на КЕГЭ по информатике более часто можно встретить другие преобразования логических выражений – представление импликации $A \rightarrow B$ в виде $\neg A \vee B$, законы де Моргана, закон двойного отрицания, идемпотентности – прочие законы алгебры логики также должны быть усвоены обучающимися.

Понимание распределительного (дистрибутивного) закона в логике высказываний осложняется тем, что в арифметике операция умножения «×» дистрибутивна относительно операции сложения «+»:

$$A \times (B + C) = (A \times B) + (A \times C),$$

однако операция сложения не дистрибутивна относительно операции умножения:

$$A + (B \times C) \neq (A + B) \times (A + C).$$

Распределительный (дистрибутивный) закон является одним из основных законов арифметики [9, с. 204].

2. Пример задания

Рассмотрим задание 2 № 202 материалов для подготовки к ЕГЭ по информатике К. Ю. Полякова [10], автор задания – Е. Джобс:

«Логическая функция F задаётся выражением $\neg w \wedge (y \vee z \rightarrow \neg x \wedge y)$. В табл. 1 приведён фрагмент таблицы истинности функции F, содержащий неповторяющиеся строки. Определите, какому столбцу таблицы истинности функции F соответствует каждая из переменных x, y, z, w.

Таблица 1

Частично заполненная таблица истинности задания

?	?	?	?	F
			1	1
		1		1
	1	1		1

В ответе напишите буквы x, y, z, w в том порядке, в котором идут соответствующие им столбцы. Буквы в ответе пишите подряд, никаких разделителей между буквами ставить не нужно.» [10]

3. Аналитическое решение задания

Выражение ¬w ∧ (y ∨ z → ¬x ∧ y) может быть преобразовано следующим образом.

1. Импликация имеет меньший приоритет, чем дизъюнкция и конъюнкция, поэтому заданное выражение равносильно

$$\neg w \wedge ((y \vee z) \rightarrow (\neg x \wedge y)).$$

2. Замена импликации на отрицание первого операнда и дизъюнкцию приведёт к выражению вида

$$\neg w \wedge (\neg(y \vee z) \vee (\neg x \wedge y)).$$

1. 3. В соответствии с законами де Моргана,

$$\neg w \wedge ((\neg y \wedge \neg z) \vee (\neg x \wedge y)).$$

2. 4. В соответствии с распределительным законом операнд ¬w может быть записан в первой и второй скобках:

$$(\neg w \wedge \neg y \wedge \neg z) \vee (\neg w \wedge \neg x \wedge y).$$

Для истинности итогового выражения необходимо, чтобы первая скобка была истинной или вторая скобка была истинной, или обе скобки были истинными. Обе скобки не могут быть истинными одновременно ввиду наличия операнда ¬y в первой скобке и операнда y во второй скобке по закону непротиворечия: y и ¬y не может быть истиной одновременно.

Первая скобка итогового выражения (¬w ∧ ¬y ∧ ¬z) истинная, если логические переменные принимают следующие значения (табл. 2).

Таблица 2

Значения логических переменных первой скобки итогового выражения

w	**y**	**z**	**x**
0	0	0	любой

Вторая скобка итогового выражения (¬w ∧ ¬x ∧ y) принимает значение истина в следующем случае (табл. 3).

Таблица 3

Значения логических переменных второй скобки итогового выражения

w	**x**	**y**	**z**
0	0	1	любой

В таблице 4 отражены все комбинации логических переменных w, x, y, z, при которых логическая функция F является истинной.

Таблица 4

Значения логических переменных w, x, y, z для истинности логической функции F

w	**x**	**y**	**z**
0	0	1	0
0	0	1	1
0	0	0	0
0	1	0	0

Строка со всеми ложными значениями логических переменных (0, 0, 0, 0) в заданной таблице истинности (табл. 1) отсутствует. Единственным столбцом заданной таблицы истинности, все ячейки которого могут быть равны 0, является первый столбец. Таким образом, первый столбец – w. В третьем столбце исходной таблицы (табл. 1) записаны две единицы – это столбец y – единственный столбец табл. 4, также содержащий две единицы. Единица во втором столбце заданной таблицы соответствует единице в третьем столбце, второй столбец соответствует переменной z. Наконец, единица в последнем столбце исходной таблицы соответствует нулю в столбце y, последний столбец – x.

Ответом на данное задание является последовательность логических переменных wzyx.

Хотя рассмотренное задание может быть решено без применения распределительного (дистрибутивного) закона, предложенная последовательность действий при решении задания не только позволяет легко получить значения логических переменных для истинности логической функции и применить распределительный закон, но также представить исходное выражение в виде дизъюнктивной нормальной формы, что открывает возможности для изучения более сложного предметного содержания, например, карт Карно.

Заключение

В статье рассмотрена актуальность изучения аналитического способа решения задания 2 КЕГЭ на соотнесение логических

переменных столбцам заданной частично заполненной таблицы истинности логической функции с использованием распределительного закона (свойства дистрибутивности).

Знание законов алгебры логики и умение проводить преобразования логических выражений в соответствии с ними развивает логическое мышление и способствует формированию предпрофессиональных навыков и компетенций, необходимых в любой сфере профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Попов В. С., Леляев П. А. Программный и аналитический способы построения и заполнения таблиц истинности логических функций // Информатика: проблемы, методы, технологии : материалы XXIII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова, Воронеж, 15–17 февраля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2023. – С. 1218-1226. – EDN SNTHWS.

2. Попов В. С., Алефиренко Е. А., Черницына Л. Ю. Способы проверки ответа при решении задания № 2 ЕГЭ по информатике на определение порядка переменных в частично заполненной таблице истинности логической функции // Педагогическая информатика. – 2024. – № 3. – С. 72-81. – EDN IRPBJN.

3. Тарабукина М. И., Винокурова Е. С. Методика обучения учащихся к решению заданий по теме «Основы логики» в рамках подготовки к ЕГЭ по информатике // Аммосов-2021: Сборник материалов научно-практической конференции студентов СВФУ, Якутск, 12 апреля 2021 года. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2021. – С. 365-367. – EDN TRTLLM.

4. Сырицына В. Н., Кадеева О. Е., Кривоносова С. В. Решение логических задач ЕГЭ по информатике. Учебно-методическое пособие – М.: Мир науки, 2023. – 93 с. – ISBN 978-5-907731-52-3. – DOI: 10.15862/52MNNPU23. – EDN KORXHO.

5. Слепенкова М. Д. Изучение темы «Основы логики» с применением технологии смешанного обучения // XXIII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета : Материалы конференции, Нижневартовск, 06–07 апреля 2021 года / Под общей редакцией Д.А. Погонышева. Часть 10. – Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2021. – С. 79-84. – EDN IABXNZ.

6. Кононенко А. А. Методика изучения темы «Логика. Логические основы ЭВМ» на профильном уровне // Педагогический

университетский вестник Алтая. – 2006. – № 1. – С. 349-353. – EDN SCAWTX.

7. Попов В. С. Лабораторная работа «Цифровая схемотехника и алгебра логики: создание цифровых устройств в онлайн-симуляторе»: компетентностный подход в целях преемственности уровней образования // Информатика в школе. – 2024. – Т. 23, № 2. – С. 35-43. – DOI: 10.32517/2221-1993-2024-23-2-35-43. – EDN AFSYSM.

8. Попов В. С. Think Different // Потенциал. Математика. Физика. Информатика. – 2019. – № 08 (176). – С. 50-52.

9. Депман И. Я. История арифметики. – М.: Просвещение, 1965. – 415 с.

10. Поляков К. Ю. ЕГЭ по информатике: подготовка к ЕГЭ-2025 по информатике, разбор задач ЕГЭ-2025 по информатике, материалы для подготовки к ЕГЭ [Электронный ресурс]. – URL: https://kpolyakov.spb.ru/school/ege.htm (дата обращения: 05.01.2025).

Логические ошибки на ЕГЭ

И. Ю. Зуева, email: iz_sosh97@mail.ru

МБОУ Средняя общеобразовательная школа № 97 г. Воронежа

Аннотация. *В данной работе рассматриваются типовые логические ошибки, возникающие у учащихся при решении задач ЕГЭ по информатике.*

Ключевые слова: *логика, логическое мышление, логическая ошибка, ЕГЭ, программирование, алгоритмическое мышление.*

Введение

Раздел «Логика» в курсе информатики является одним из основополагающих и как никакой другой, влияющим на развитие логического мышления. Значимость данной темы подчеркивается тем, что она изучается во всех курсах информатики, начиная с начального курса, продолжается в базовом курсе и получает свое дальнейшее развитие в профильных курсах информатики.

1. Формирование логического мышления

В педагогической литературе рассматриваются разные определения логического мышления. Так Н.Н. Поспелов и И.Н. Поспелов подчеркивают: «Развитие логического мышления учащихся – это вооружение их знаниями требований логики и выработка навыков использования этих требований в учебной и практической деятельности» [1].

Классическая формальная логика рассматривает понятие, суждение, умозаключение как основные формы мышления. Оперирование ими отражает сущность логического мышления.

Использование таких алгоритмических структур, как ветвление и цикл, подразумевает использование логических выражений, построение которых невозможно без понятия высказывания, логического значений, логических операций и кванторов.

2. Логические ошибки в заданиях ЕГЭ

Логические ошибки – основные беды начинающих программистов.

Логическая ошибка в программе – это ошибка, при которой инструкции, данные в программе, не достигают поставленной цели. Эти ошибки очень трудно отследить, поскольку компилятор не может оказать помощь.

© Зуева И. Ю., 2025

Здесь нужно начать копать на алгоритмическом уровне, чтобы сузить область поиска такой ошибки

– неверное указание ветви алгоритма после проверки некоторого условия;
– неполный учет возможных условий;
– пропуск в программе одного или более блоков алгоритма.

Практически каждое задание ЕГЭ по информатике предполагает знание и умения применять логические операции [2].

Пример логических ошибок.

1. На языке Pascal:

```
for i := 1 to 10 do
if i = 15 then WriteLn (“i = 15”);
```

Здесь мы сравниваем значение i с числом 15, и выводим сообщение, если i = 15. Но фишка в том, что в данном цикле i не будет равно 15 НИКОГДА, потому что в цикле переменной i присваиваются значения от 1 до 10.

2. На языке Python:

```
a = 10
b = 10
if a > b:
   print("a больше b")
else:
   print("a меньше b")
```

Ошибка: Логика сравнения неверна, программа выведет "a меньше b", хотя они равны.

До 2021 года 24 задание ЕГЭ как раз было на определение ошибок в программе, заведомо работающей неверно. Требовалось привести пример числа, при вводе которого программа выдаёт верный ответ, а также найти все ошибки в этой программе (их может быть одна или несколько).

Именно в этом задании проверялось логическое мышление учащегося на алгоритмическом уровне.

Сейчас, при решении заданий на языке программирования, очень часто допускаются ошибки при написании условия.

Рассмотрим примеры.

– во 2 задании ЕГЭ по информатике для записи логического выражения ¬(w → x) v (¬z → ¬y) v z на языке программирования очень важно не путать приоритеты логических операций, а значит аккуратно расставлять скобки:

```
(not (w <= x)) or (not(z)) <= (not(y)) or z
```

В языке программирования Python, одном из самых популярных при сдаче ЕГЭ, логическая операция not стоит позже по приоритету чем сравнение.

– в 15 задании ЕГЭ по информатике из демоверсии 2025 г. [3]:

На числовой прямой даны два отрезка: P = [15; 40] и Q = [21; 63]. Укажите наименьшую возможную длину такого отрезка A, для которого логическое выражение

$$(x \in P) \rightarrow (((x\ Q) \wedge \neg(x \in A)) \rightarrow \neg(x \in P))$$

истинно при любом значении переменной x.

Основную сложность представляет процесс перехода от логического выражения к математической системе или совокупности выражений.

Практически во всех заданиях, решаемых на языке программирования присутствуют ошибки неверные формулировки условий в операторах ветвления и циклах, например, замена строгого неравенства на нестрогое и наоборот.

С 2021 года также усложняется задание, которое связано с написанием кода. Проверяется исключительно результат, а сам код не подвергается контролю. Ошибка в данном разделе становится серьезной, ведь она приводит к тому, что бал не засчитывается.

Еще одна важная категория – теория игр. Эта тема признается сложнейшей для учащихся, поэтому к ее прохождению важно готовиться заблаговременно.

Чтобы найти логическую ошибку в коде, нужно уметь методически отслеживать источник ошибки. Эти типы ошибок могут оказаться весьма дорогостоящей проблемой, если они не будут своевременно устранены [4, 5].

Таким образом, при прохождении ЕГЭ по информатике важно избегать типичных ошибок в первой и второй частях тестирования. В процессе подготовки к экзамену важно уделить особое внимание разделу с логическими заданиями.

Нужно уделить внимание выражениям и операторам, которые помогают справляться с заданиями на написание кода.

Ошибки в логике не ограничены в сфере компьютерного программирования.

Заключение

Мыслить логично – значит мыслить точно и последовательно, не допускать противоречий в своих рассуждениях и уметь вскрывать логические ошибки. Эти качества мышления имеют большое значение для успешности освоения всех без исключения учебных дисциплин [6].

Логическое мышление является основой для успешного программирования.

Список литературы

1. Магомедов С. Р. Роль логических задач в курсе школьной информатики / С. Р. Магомедов // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 7-1. – С. 21-23.

2. Крылов С. С. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2024 года по информатике [Электронный ресурс] // С. С. Крылов / ФИПИ. – Москва, 2024. – 28 с. – Режим доступа: https://doc.fipi.ru/ege/analiticheskie-i-metodicheskie-materialy/2024/inf_mr_2024.pdf

3. Демонстрационный вариант контрольных измерительных материалов единого государственного экзамена 2025 года по информатике [Электронный ресурс] // ФИПИ. – 2024. – Режим доступа: https://doc.fipi.ru/ege/demoversii-specifikacii-kodifikatory/2024/inf_11_2024.zip

4. Искусственные и биологические нейронные сети. – Текст : электронный // Skypro : [сайт]. – 2025. – URL: https://sky.pro/wiki/profession/osnovy-logicheskogo-myshleniya-v-programmirovanii/

5. Логические ошибки. – Текст : электронный // Mega-obzor : [сайт]. – 2025. – URL: https://mega-obzor.ru/logicheskie-oshibki.html

6. Сафина И.И. Формирование логического мышления на уроках информатики. – Текст : электронный / И. И. Сафина, О. В. Гилёва // X Международная научно-практическая конференция, посвященная применению информационных и коммуникационных технологий в образовании и науке. 26 – 30 апреля 2021 г., г. Бирск. – 2021. – URL: https://birskin.ru/index.php/2012-03-27-12-36-17/50-10-/563-2021-06-23-07-03-35

Многозадачность: задание 22 демонстрационного варианта ЕГЭ по информатике 2025 года

Л. Ю. Черницына, email: chernicynalyu@mgpu.ru

Институт развития профильного обучения, Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы «Московский городской педагогический университет»

Аннотация. *В статье рассмотрено решение задания 22 на многозадачность демонстрационного варианта ЕГЭ по информатике 2025 года с использованием диаграммы Ганта, построенной в электронных таблицах. Показан способ проверки длительности процессов на построенной диаграмме Ганта, для наглядного решения задания использовано условное форматирование.*

Ключевые слова: *многозадачность, электронные таблицы, диаграмма Ганта, функции электронных таблиц, информатика.*

Введение

Современное задание 22 ЕГЭ по информатике на многозадачность впервые появилось в демонстрационном варианте КИМ ЕГЭ по информатике 2023 года. В задании образца 2023 года следовало вычислить минимальное время выполнения заданной совокупности процессов, некоторые из которых могли быть запущены только после окончания работы других процессов. Задание на вычисление минимального времени выполнения заданной совокупности процессов могло быть решено различными способами [1]. Для решения задания использовались методы динамического программирования [2], теории графов [3], электронных таблиц [4], а также диаграмма Ганта [5, 6].

Формулировка задания 22 в ЕГЭ по информатике 2024 года была изменена: в демонстрационном варианте КИМ ЕГЭ 2024 года по информатике вместо определения минимально возможного времени выполнения всей совокупности процессов следует найти максимальную продолжительность отрезка времени, в течение которого возможно одновременное выполнение заданного количества процессов [7, 8].

В статье приводится решение задания 22 демонстрационного варианта КИМ ЕГЭ по информатике 2025 года [9].

© Черницына Л. Ю., 2025

1. Формулировка задания

Задание 22 демонстрационного варианта КИМ ЕГЭ по информатике 2025 года [9, с. 17]:

«В файле содержится информация о совокупности N вычислительных процессов, которые могут выполняться параллельно или последовательно. Приостановка выполнения процесса не допускается. Будем говорить, что процесс B зависит от процесса A, если для выполнения процесса B необходимы результаты выполнения процесса A. В этом случае процессы A и B могут выполняться только последовательно.

Информация о процессах представлена в файле в виде таблицы. В первом столбце таблицы указан идентификатор процесса (ID), во втором столбце таблицы – время его выполнения в миллисекундах, в третьем столбце перечислены с разделителем «;» ID процессов, от которых зависит данный процесс. Если процесс независимый, то в таблице указано значение 0.

Таблица 1

Типовой пример организации данных в файле

ID процесса B	Время выполнения процесса B (мс)	ID процесса(-ов) A
101	4	0
102	3	0
103	1	101; 102
104	7	103

Определите максимальную продолжительность отрезка времени (в мс), в течение которого возможно одновременное выполнение максимального количества процессов при условии, что все независимые друг от друга процессы могут выполняться параллельно и время окончания работы всех процессов минимально.» [9, с. 17]

2. Построение диаграммы Ганта в электронных таблицах

Сведения для выполнения приведённого задания содержатся в электронной таблице (табл. 2).

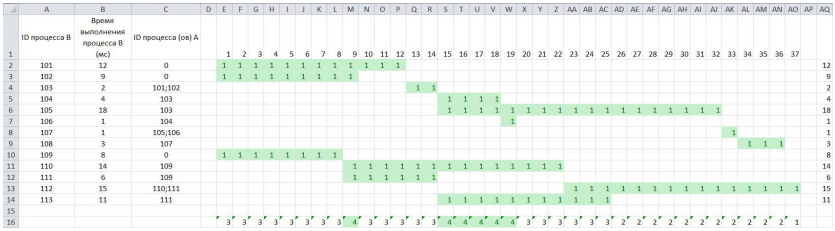
Таблица 2

Данные для решения задания

ID процесса B	Время выполнения процесса B (мс)	ID процесса(-ов) A
101	12	0
102	9	0

103	2	101; 102
104	4	103
105	18	103
106	1	104
107	1	105; 106
108	3	107
109	8	0
110	14	109
111	6	109
112	15	110; 111
113	11	111

Построенная диаграмма Ганта для представленных данных (табл. 2) представлена на рис. 1.



	A	B	C
1	ID процесса B	Время выполнения процесса B (мс)	ID процесса (ов) A
2	101	12	0
3	102	9	0
4	103	2	101;102
5	104	4	103
6	105	18	103
7	106	1	104
8	107	1	105;106
9	108	3	107
10	109	8	0
11	110	14	109
12	111	6	109
13	112	15	110;111
14	113	11	111
15			
16			

Рис. 1. Диаграмма Ганта в электронной таблице

На рис. 1 каждый независимый процесс B запускается в начале выполнения всей совокупности процессов, каждый из процессов B, зависимых от процессов A, запускается после окончания всех процессов A. Продолжительность каждого процесса равна времени выполнения процесса, указанному в столбце B исходной таблицы (табл. 2, рис. 1). Диаграмма Ганта построена по алгоритму, представленному в [8, 10].

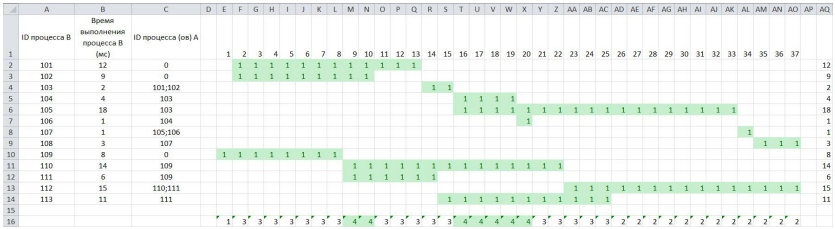
После построения диаграммы Ганта для вычисления количества процессов, выполняемых на каждой миллисекунде, использовано суммирование для столбцов (например, в ячейку E16 была записана формула =СУММ(E2:E14), после чего эта формула была скопирована в последующие столбцы строки 16). Вместо функции СУММ также может быть использована функция СЧЁТ, подсчитывающая количество ячеек, содержащих числовые значения. Данные функции могут быть использованы для суммирования по строкам с целью контроля времени выполнения процессов на диаграмме Ганта (примером чего является столбец AQ – крайний правый столбец на рис. 1), вычисленное время

выполнения процессов следует сравнить с исходным столбцом B заданной электронной таблицы.

Для выделения каждого процесса на диаграмме Ганта и максимального количества процессов использовано условное форматирование (в Excel: Главная → Стили → Условное форматирование → Правила выделения ячеек → Равно, в LibreOffice Calc: Формат → Условное → Условие → Равно).

Как видно из диаграммы Ганта на рис. 1, длина отрезка времени, в течение которого выполняется максимальное количество процессов, равна 5 мс.

Время окончания работы всех процессов также минимально, если каждый из процессов 101-108 начнётся на 1 мс позже, однако и в этом случае максимальная продолжительность отрезка времени одновременного выполнения максимального количества процессов также составляет 5 мс (рис. 2).



ID процесса B	Время выполнения процесса B (мс)	ID процесса (ов) A
101	12	0
102	9	0
103	2	101;102
104	4	103
105	18	103
106	1	104
107	1	105;106
108	3	107
109	8	0
110	14	109
111	6	109
112	15	110;111
113	11	111

Рис. 2. Диаграмма Ганта, начало выполнения дерева процессов 101-108 смещено вправо на 1 мс

Сдвигать дерево процессов 101-108 правее невозможно ввиду ограничения, содержащегося в условии задания: время окончания работы всех процессов должно быть минимальным. Изменение времени запуска отдельных процессов внутри деревьев процессов (взаимозависимых процессов) 101-108 и 109-113 также не приведёт к увеличению продолжительности требуемого отрезка времени выполнения максимального количества процессов.

Заключение

В статье рассмотрена методика решения задания 22 ЕГЭ по информатике демонстрационного варианта КИМ ЕГЭ по информатике 2025 года с помощью построения диаграммы Ганта в электронных таблицах. Показан способ контроля длительности процессов на построенной диаграмме Ганта, продемонстрировано использование условного форматирования для более наглядного решения задания.

Список литературы

1. Попов В. С. Задание ЕГЭ по информатике № 22 на многозадачность: нахождение критического пути аналитическими методами // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIX Международной научно-практической конференции (15–17 ноября 2023 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр – 2023. – С. 190-195. – EDN LBZLOX.

2. Попов В. С. Новая задача ЕГЭ по информатике № 22: решение по таблице // Потенциал. Журнал для старшеклассников и учителей. – 2022. – № 9. – С. 45-49.

3. Попов В. С. Новая задача ЕГЭ по информатике № 22: решение с помощью графа // Потенциал. Журнал для старшеклассников и учителей. – 2022. – № 8. – С. 39-43.

Попов В. С. Новая задача ЕГЭ по информатике № 22: решение в электронных таблицах // Потенциал. Журнал для старшеклассников и учителей. – 2022. – № 10. – С. 30-38.

4. Попов В. С. Новая задача ЕГЭ по информатике № 22: строим диаграмму Ганта для процессов вручную // Потенциал. Журнал для старшеклассников и учителей. – 2022. – № 12. – С. 41-44.

5. Попов В. С. Новая задача ЕГЭ по информатике № 22: решение в Microsoft Project // Потенциал. Журнал для старшеклассников и учителей. – 2022. – № 12. – С. 36-40.

6. Демонстрационный вариант контрольных измерительных материалов единого государственного экзамена 2024 года по информатике. М.: Федеральный институт педагогических измерений. 2023. 24 с.

7. Попов В. С. Новое задание ЕГЭ по информатике № 22 на многозадачность 2024 года: нахождение отрезка времени для одновременного выполнения указанного количества процессов // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2023. – № 1-2. – С. 196-198. – EDN PCZSKH.

8. Демонстрационный вариант контрольных измерительных материалов единого государственного экзамена 2025 года по информатике. М.: Федеральный институт педагогических измерений. 2024. 24 с.

9. Плугарь И. В. Задание 22 | ЕГЭ по информатике | ДЕМО-2025 [Электронный ресурс] URL: https://www.youtube.com/watch?v=HKPTxjpFuKg (дата обращения: 01.10.2024).

Секция 3
Искусственный интеллект в образовании

Формирование метапредметных компетенций на уроках истории и обществознания с использованием информационных ресурсов и ИИ

Е. Ф. Гребенюк, email: lana-grebenjuk@mail.ru

МБОУ «Лицей № 15» г. Воронежа

Аннотация. *Статья посвящена вопросу формирования метапредметных компетенций на уроках истории и обществознания с использованием ИКТ и ИИ.*

Ключевые слова: *национальный проект «Образование», метапредметные компетенции, универсальные учебные действия,онлайн-тренажер, нейротехнологии, нейросети, Искусственный интеллект, «Шедеврум».*

Введение

В современном мире инновационные процессы развиваются очень стремительно, затрагивая все сферы жизнедеятельности общества. По статистике каждые трое суток в планетарном масштабе появляются новые технологии. Изменение общества не может не вести к изменению требований к личности. Именно по этой причине образование молодого поколения должно идти в ногу со временем.

Главной задачей школы в новых условиях становится обеспечение общекультурного личностного и познавательного развития обучающихся, способность вооружить их таким важным умением как умение учиться, что позволит добиться высокого качества образования.

1. Метапредметный подход в ходе формирования универсальных учебных действий

Формирование ключевых компетенций, личностных, коммуникативных, регулятивных, познавательных, то есть универсальных учебных действий, даст возможность ученикам самостоятельно сознательно и активно усваивать социальный опыт предшествующих поколений, обеспечит саморазвитие и самосовершенствование личности. Универсальный характер учебных действий проявляется прежде всего в том, что они носят метапредметный характер. Метапредметный подход предполагает, что ребенок не только овладевает системой знаний, но и осваивает универсальные способы действий и с их помощью может сам добывать

© Гребенюк Е. Ф., 2025

информацию о мире [1]. Метапредметные умения позволяют решать задачи на стыке наук, формируют умение воспринимать целостность научных знаний без конкретизации каких-либо учебных предметов.

2. Использование метапредметного подхода на уроках истории и обществознания с учетом современных ИКТ и ИИ

Будучи преподавателем гуманитарных наук, истории и обществознания, я хотела бы поделиться опытом использования метапредметного подхода в своей педагогической работе.

В нашей школе разработан и практически реализуется спецкурс для обучающихся седьмых классов «Историческая география». Курс опирается на метапредметные умения учащихся, позволяющие сопоставить содержание задачи со своими знаниями, оценить собственные действия и в случае необходимости скорректировать их, используя интеграцию наук: истории, географии, информатики, топонимики. Знакомство с историческими картами, имеющими под собой географическую основу, предполагает применение уже полученных знаний на уроках географии, в частности, понимание, что несет в себе легенда карты, какие условно-графические символы используются при нанесении информации на карту. В свою очередь, усваиваются знания об особенностях исторической карты, топонимы, имевшие место в историческом прошлом, соотносятся с современными названиями географических объектов. Особые условно-графические символы на исторической карте позволяют судить о масштабах происходивших событий, развитии отдельных территорий. Это вызывает интерес, повышает мотивацию к изучению школьных дисциплин. Осуществляя проверку и закрепление знаний используется онлайн-тренажеры по исторической географии определенных периодов истории, которые позволяют учащимся самостоятельно проверить и закрепить полученные знания. Все эти навыки, которые ребята получают в результате изучения данного курса, затем успешно применяются при решении заданий по истории на экзаменах в формате ОГЭ и ЕГЭ, кроме того, позволяют свободно ориентироваться в интернет-пространстве в поисках нужной информации.

Использование передовых технологий в образовании позволяет вносить в процесс обучения инновационные коррективы, делать уроки нестандартными. Это является стимулом для самообразования и развития метапредметных навыков и умений. Например, использование искусственного интеллекта в образовании позволяет адаптировать учебные программы под потребности конкретных учеников, автоматизировать рутинные операции, способствовать персонализации обучения, интеграции интерактивных учебных материалов, развитию

критического мышления обучающихся. Так, в 2023 году компания «Яндекс» запустила «Шедеврум» – проект, сервис и приложение, с помощью которого пользователи могут генерировать изображения по текстовому описанию нейросетей [2], а в 2024 году добавляется уже возможность генерировать тексты. Применение ИИ творчески дает широчайшие возможности для развития метапредметных умений и открывает совершенно иные перспективы самореализации личности ученика. В рамках реализации национального проекта «Образование» на базе нашего учебного заведения был создан «Кванториум» – это один из федеральных детских технопарков, оснащенных высокотехнологичным оборудованием [3]. Здесь дети изучают лазерные технологии, нейротехнологии, искусственный интеллект и многое другое, что открывает перспективу внесения инновационных, передовых новелл в процесс обучения. Таким образом, в значительной степени повышается уровень ответственности обучающихся за собственные знания и умения, появляется значительный стимул для самосовершенствования, осуществляется вклад в развитие передовых технологий.

Заключение

Применение метапредметного подхода в образовании школьников способствует приобретению первичных навыков проектирования, формированию умений поисковой работы с информационными ресурсами в цифровой среде, выработке навыков их критического анализа и различения, позволяет осваивать универсальные способы действий, что является основой современного обучения.

Список литературы

1. Гуторова, Г. Д. Метапредметные компетенции и оценка уровня их сформированности у обучающихся основной школы / Г. Д. Гуторова // Вестник ТГГПУ. – 2021. – № 2 (64). – С. 239-245.

2. Шедеврум – с нейросетями Яндекса для создания картинок и видео : [сайт] / ООО «Яндекс», 2025. – URL: https://shedevrum.ai/. – Текст. Изображение : электронные.

3. Детский технопарк «Кванториум» : [сайт] / URL: https://licey15.obrvrn.ru/detskiy-tehnopark-kvantorium/. – Текст. Изображение : электронные.

Перспективы использования искусственного интеллекта для проверки работ студентов в Воронежском государственном университете

С. П. Ряполов, email: ryapolov_s@vsu.ru
А. П. Толстобров, email: tap@vsu.ru
И. В. Протасова, email: protasova@vsu.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Аннотация. *В статье рассматриваются перспективы использования искусственного интеллекта для проверки заданий с ответами открытого типа в Воронежском государственном университете.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, электронный курс, проверка знаний, LMS Moodle.*

Введение

Автоматическая проверка заданий с ответами открытого типа представляет собой важную проблему в области дистанционного образования. В условиях стремительного роста числа онлайн-курсов и увеличения количества обучающихся на них студентов оптимизация учебного процесса является одной из важнейших задач, стоящих перед образовательными организациями. Задания с ответом закрытого типа, такие как тесты с множественным выбором проверяются, как правило, автоматически. Но с их помощью можно проверить только низкоуровневые компетенции. Согласно таксономии Блума это будут знание, понимание и применение [1].

Для проверки высокоуровневых компетенций (анализ, синтез) необходимо использовать задания с ответом открытого типа. Это могут быть эссе, вопросы с развёрнутым ответом, аналитические задачи. В ходе выполнения подобных заданий студенты могут продемонстрировать свои фундаментальные знания, аналитическое мышление, творческий подход. Однако проверка таких заданий занимает у преподавателей много времени, особенно в случае работы с большим количеством студентов.

Это замедляет получения студентами обратной связи, увеличивает нагрузку на преподавателей и может стать источником субъективной оценки. Автоматизация проверки открытых заданий позволяет решить все вышеперечисленные проблемы.

© Ряполов С. П., Толстобров А. П., Протасова И. В., 2025

Настоящая статья посвящена исследованию методов автоматической проверки заданий с открытым типом ответа в LMS Moodle [2]. Рассматриваются существующие подходы, их преимущества и ограничения, а также перспективы внедрения искусственного интеллекта и методов обработки естественного языка в образовательный процесс Воронежского государственного университета.

1. Существующие решения проверки заданий с ответами открытого типа в LMS Moodle

В образовательном процессе ВГУ используется система управления обучением 3 KL. Он разработана на основе LMS Moodle и поддерживает все выпускаемые для неё плагины. Поэтому мы проанализируем, какие существуют решения для автоматической проверки заданий прежде всего в LMS Moodle.

Существующие инструменты автоматической проверки заданий с ответами открытого типа можно разделить на две группы: не использующие искусственный интеллект для проверки заданий и использующие.

К первой группе можно отнести такие плагины как Regular Expression Short Answer, Pattern Match и Essay (auto-grade). Все они имеют свои достоинства и ограничения применения в образовательной практике, которые мы рассмотрим ниже.

Regular Expression Short Answer [3] позволяет задавать критерии правильного ответа в виде регулярных выражений. Он подходит для оценки коротких текстов, таких как определения или формулы. К достоинствам Regular Expression Short Answer можно отнести высокую точность проверки при строгих критериях, возможность задавать несколько правильных вариантов ответа и простота интеграции в тесты Moodle. В то же время данный инструмент имеет существенные ограничения. Он плохо подходит для проверки длинных и сложных текстов. Для формулировки критерий проверки ответа преподаватель должен знать синтаксис регулярных выражений.

Pattern Match [4] является более гибким инструментом в сравнении с Regular Expression Short Answer. При проверки коротких ответов он учитывает вариативность формулировок, таких как синонимы и разные грамматические конструкции. Этот инструмент может распознавать и альтернативные формулировки ответа. Его проще освоить преподавателям, так как при создании шаблона проверки ответа не требует знания регулярных выражений. Однако он тоже имеет и ряд недостатков, затрудняющих полноценную проверку заданий с открытым ответом. Pattern Match не справляется с проверкой длинных текстов, он обладает ограниченными возможностями оценки логической структуры

и аргументации. Хотя настройка параметров проверки ответов в Pattern Match проще, чем в Regular Expression Short Answer, всё равно существует риск допустить ошибку при их настройке.

Плагин Essay (auto-grade) [5] на основе правил и настроек, заданных преподавателем, может автоматически проверять эссе. Плагин анализирует текстовые ответы студентов с учётом следующих параметров: длина ответа (количество слов, предложений или символов), наличие ключевых слов или фраз, частота использования слов, использование синтаксических структур.

Среди достоинств Essay (auto-grade) выделяется простота настройки. Его легко использовать преподавателям, которые не обладают глубокими техническими знаниями. Инструмент задаёт чёткие критерии оценки и автоматически проверяет текстовые ответы. Плагин легко интегрируется в LMS Moodle. В то же время возможности Essay (auto-grade) для анализа сложных текстов ограничены. Он не учитывает логику ответа, глубину и стройность использованных аргументов. Помимо этого, для корректной работы Essay (auto-grade) необходимо чётко сформулированных критерии проверки. Это может вызвать сложности при оценивании вариативных заданий, креативных эссе или ответов с нестандартной логикой.

Главным недостатком все вышеперечисленных решений является невозможность полноценной проверки ими сложных ответов. Также они не могут предоставить отзыв, учитывающий особенности каждой работы студента. Всего этого можно достичь, используя для проверки ответов искусственный интеллект.

Современные системы оценки, основанные на искусственном интеллекте, используют обработку естественного языка для анализа содержания длинных текстов. Они способны учитывать различные аспекты текста, включая грамматику, логику, стиль и глубину аргументации. Среди достоинств таких систем выделяются возможность проверки длинных и сложных текстов, анализ структурных и содержательных характеристик текста, способность к обучению на основе собранных данных, что со временем приводит к повышению точности их работы. Однако существуют и недостатки: высокая стоимость внедрения и поддержки, необходимость больших объёмов обучающих данных, риск ошибок при проверке нестандартных ответов.

Настройка системы типа AI-Powered Essay Grading для проверки ответов типа эссе с помощью искусственного интеллекта требует соблюдения ряда этапов. Она включает в себя сбор обучающих данных, необходимых для корректной работы системы, обучение модели и её тестирование для проверки точности. Интеграция системы с

использованием искусственного интеллекта в LMS Moodle осуществляется через специальные плагины или с помощью API. Это позволяет автоматически обрабатывать и оценивать эссе и в кратчайшие сроки предоставлять результаты работ студентам. При этом студенты могут получать не только отметку, но и персонифицированный отзыв на свой ответ. Преподаватели имеют возможность корректировать настройки модели, для изменяя критерия оценки.

2. Перспективы создания в ВГУ собственного инструмента для автоматической проверки заданий с ответами открытого типа.

В настоящее время существует целый ряд готовых решений для проверки ответов типа эссе. Можно назвать такие как Kangaroos AI, AI For Teachers, CoGrader, EssayGrader, GradeCam и другие [6]. Их можно использовать как отдельно, так и в составе LMS, используемой в образовательной организации. С помощью API в LMS Moodle возможно интегрировать облачные сервисы для обработки естественного языка: OpenAI GPT и Microsoft Azure Text Analitics. Однако все названные выше решения невозможно использовать в условиях российского образования.

Прежде всего, все эти решения в настоящее время недоступны для пользователей из Российской Федерации. Также использование зарубежных инструментов часто связано с передачей данных за рубеж, что противоречит российским законам о защите персональных данных, таким как ФЗ-152.

Организация автоматической проверки заданий с ответами открытого типа является важным аспектом оптимизации учебного процесса, что особенно актуально для такого крупного вуза, как ВГУ. Но её реализация потребует создание собственного инструмента.

Для анализа ответов предполагается использовать российские модели искусственного интеллекта (SberGPT или YandexGPT). Эти модели обучаются прежде всего на русскоязычных данных. Поэтому они будут проводить более качественный анализ грамматических и стилистических особенностей текстов на русском языке. Они могут быть адаптированы для оценки работ в соответствии с отечественными образовательными стандартами, включая требования к ЕГЭ.

Важным моментом является интеграция системы проверки заданий с используемой в университете платформой онлайн-образования. Для этого потребуется создать плагин, который будет передавать тексты ответов в систему искусственного интеллекта и возвращать оценки. Студенты и преподаватели должны иметь возможность отправить работу на проверку и получить обратную связь непосредственно в интерфейсе образовательной платформы.

Реализация подобного инструмента позволит сократить время, которое преподаватели тратят на проверку ответов. Это позволит им уделять больше внимания индивидуальной работе со студентами. Оперативное получение обратной связи сможет повысить мотивацию и вовлеченность студентов в образовательный процесс. Использование чётко определённых критериев оценивания повысит качество и объективность проверки работ.

Заключение

Таким образом, создание инструмента для автоматической проверки ответов открытого типа сможет существенно повысить эффективность образовательного процесса в Воронежском государственном университете. Это облегчит работу преподавателей и улучшит образовательный опыт студентов.

В то же время, нужно понимать, что использование искусственного интеллекта для автоматической проверки работ может иметь ряд негативных последствий, таких как потеря персонализированного отношения к работам, ошибки в интерпретации сложных текстов, сложности с оценкой креативных текстов, возможность предвзятости алгоритма проверки. Поэтому рекомендуется использовать сбалансированный подход, в котором искусственный интеллект используется как вспомогательный инструмент, а преподаватели сохраняют возможность корректировать результаты и принимать окончательное решение об оценке работы.

Список литературы

1. Таксономия Блума [Электронный ресурс] : – Режим доступа: http://znanierussia.ru/articles/Таксономия_Блума
2. LMS Moodle [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://moodle.org
3. Regular expression short answers [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://moodle.org/plugins/qtype_regexp
4. Pattern match [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://moodle.org/plugins/qtype_pmatch
5. Essay (auto-grade) [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://moodle.org/plugins/qtype_essayautograde
6. The Best AI Essay Graders in 2025 [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://kangaroos.ai/blog/best-ai-essay-graders

Искусственный интеллект – мощный инструмент для оптимизации и улучшения качества образовательного процесса

О. В. Трунова, email: olga.trunowa2013@yandex.ru

МОУ Калачеевская средняя общеобразовательная школа № 6 имени Героя Советского Союза М. П. Краснолуцкого

Аннотация. *В данной работе рассматриваются возможности применения ассистента преподавателя с искусственным интеллектом (ИИ) в образовательной сфере. Описываются основные функции таких систем, включая автоматизацию рутинных задач, персонализацию учебного процесса, предоставление обратной связи в реальном времени, поддержку дистанционного обучения, анализ данных и прогнозирование успеваемости. Особое внимание уделено преимуществам использования ИИ в образовании, таким как экономия времени, повышение качества обучения, доступность знаний и улучшение обратной связи. Также обсуждаются вызовы и ограничения, связанные с внедрением ИИ, такие как этические вопросы, техническая сложность и риск чрезмерной зависимости от технологий.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект (ИИ), образование, ассистент преподавателя, автоматизация, персонализация обучения, обратная связь.*

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) – это область информатики, которая изучает и создает программы, способные выполнять задачи, требующие умственных способностей человека. ИИ имитирует способность человека к обучению, адаптации и принятию решений на основе полученной информации. Это область компьютерных наук, которая изучает создание устройств и программ, способных обучаться, адаптироваться и принимать решения, которые обычно требуют человеческого интеллекта [1].

ИИ стремительно проникает в различные сферы жизни, включая образование. Ассистенты преподавателей с использованием искусственного интеллекта становятся всё более популярными благодаря своим возможностям для улучшения образовательного процесса.

© Трунова О. В., 2025

1. Основные функции ассистентов преподавателей с ИИ

В этом докладе я рассмотрю ключевые аспекты использования таких ассистентов, их преимущества и возможные вызовы.

Итак, основные функции ассистентов преподавателей с ИИ:

– Автоматизация рутинных задач. Одним из главных преимуществ ИИ является возможность автоматизации повторяющихся задач, таких как проверка домашних заданий, выставление оценок за тесты и контрольные работы, а также составление расписаний занятий. Это позволяет преподавателям сосредоточиться на более сложных аспектах обучения, таких как индивидуальная работа с обучающимися и разработка новых учебных материалов.

– Персонализация учебного процесса. Искусственный интеллект может анализировать данные о прогрессе каждого ученика и предлагать персонализированные рекомендации по обучению. Например, система может предложить дополнительные материалы для тех обучающихся, у которых возникают трудности с определёнными темами, или наоборот, предоставить более сложные задания для продвинутых учеников.

– Обратная связь в реальном времени. Современные системы с ИИ могут предоставлять обучающемуся мгновенную обратную связь по выполненным заданиям. Это помогает учащимся быстрее исправлять ошибки и улучшать свои навыки. Кроме того, преподаватели получают информацию о том, какие темы вызывают наибольшие затруднения у студентов, что позволяет корректировать учебный план.

– Поддержка дистанционного обучения. С развитием технологий дистанционного образования роль ИИ становится ещё более значимой. Ассистенты преподавателей могут помогать организовать онлайн-занятия, контролировать выполнение заданий и даже проводить виртуальные консультации. Это особенно стало актуально в условиях пандемий, когда многие учебные заведения переходят на дистанционное обучение.

– Анализ данных и прогнозирование успеваемости. ИИ-системы способны собирать и анализировать большие объёмы данных об успеваемости обучающихся, их поведении в процессе обучения и других факторах. На основе этих данных можно строить прогнозы относительно будущих успехов учащихся, выявлять группы риска и принимать меры для предотвращения академической неуспеваемости.

– Развитие soft skills. Некоторые современные системы с ИИ включают элементы геймификации и симуляции реальных ситуаций, что способствует развитию у школьников так называемых «мягких» навыков (soft skills), таких как критическое мышление, коммуникация и решение проблем [1].

Преимущества использования ассистентов преподавателей с ИИ:

– Экономия времени. Автоматизация рутинных процессов освобождает время для более творческой и продуктивной деятельности.

– Повышение качества образования. Персонализированный подход к каждому ученику позволяет улучшить результаты обучения.

– Доступность знаний. Дистанционные технологии делают образование доступным для большего числа людей, независимо от их местоположения.

– Улучшенная обратная связь. Мгновенная обратная связь помогает ученикам быстро исправлять ошибки и совершенствовать свои знания.

– Прогнозирование и предотвращение трудностей. Анализ данных позволяет заранее выявить проблемы и принять соответствующие меры.

2. Вызовы и ограничения

– Этические вопросы. Использование ИИ в образовании поднимает ряд этических вопросов, связанных с конфиденциальностью данных, справедливостью оценки и влиянием на мотивацию обучающихся.

– Техническая сложность. Разработка и внедрение систем с ИИ требуют значительных ресурсов и технических знаний, что может стать препятствием для некоторых образовательных учреждений.

– Ограниченность взаимодействия. Несмотря на все достижения, ИИ пока не способен полностью заменить живое общение между преподавателем и учеником, которое играет важную роль в образовательном процессе.

– Риск зависимости. Чрезмерная автоматизация может привести к тому, что обучающиеся будут полагаться на систему, вместо того чтобы развивать собственные навыки самостоятельного мышления и решения проблем [2].

3. Персонализация обучения с ИИ

Персонализация обучения с использованием искусственного интеллекта (ИИ) представляет собой подход, при котором учебный процесс адаптируется под индивидуальные потребности и способности каждого обучающегося. ИИ анализирует данные о прогрессе ученика, его предпочтениях, стиле обучения и других параметрах, чтобы предложить наиболее эффективные стратегии и материалы для успешного освоения знаний. Как работает персонализация обучения с ИИ?

1. Сбор данных. ИИ собирает информацию о каждом обучаемом, включая его успеваемость, предпочтения, скорость усвоения материала, участие в обсуждениях и многое другое.

2. Анализ данных. Эти данные обрабатываются алгоритмами машинного обучения, которые выявляют закономерности и тенденции в поведении и успехах ученика.

3. Предоставление рекомендаций. На основании анализа ИИ предлагает персонализированные учебные планы, задания и материалы, которые наилучшим образом подходят для данного обучающегося.

4. Корректировка плана. По мере продвижения ученика ИИ продолжает отслеживать его прогресс и вносить изменения в учебный план, чтобы максимально эффективно поддерживать процесс обучения [1].

Примеры реализации персонализации обучения с ИИ:

– Адаптивные платформы. Такие платформы, как Coursera и Khan Academy, используют ИИ для создания индивидуальных траекторий обучения. Обучающиеся проходят тесты и задания, после чего платформа предлагает следующий шаг, соответствующий их текущему уровню знаний.

– Виртуальные репетиторы. Программы вроде Duolingo и Socratic используют ИИ для предоставления персонализированной помощи в изучении языков и решении математических задач соответственно. Они анализируют ошибки и успехи обучаемого, чтобы предложить подходящие упражнения.

– Геймифицированные подходы. Игровые элементы в обучении, такие как очки опыта, уровни и награды, стимулируют школьников продолжать учиться. ИИ может адаптировать эти элементы под интересы и цели каждого ученика [3].

Наша образовательная организация с октября 2024 года активно использовала автоматизированного помощника на платформе «СберОбразование». На платформу было загружено более 100 уроков, которые ассистент преподавателя анализировал. «СберОбразование» активно использует технологии искусственного интеллекта для улучшения образовательного процесса, включая роль ассистентов преподавателей. Рассмотрим, как эти два аспекта связаны и как они работают вместе.

1. Поддержка преподавателей.

Автоматизированный помощник может взять на себя рутинные задачи, такие как проверка тестов, сбор статистики по успеваемости учеников и создание отчетов.

Преподаватели получают больше времени для творческой работы и индивидуального подхода к каждому обучающемуся.

2. Индивидуализация обучения.

Ассистент анализирует успехи и затруднения каждого ученика, предлагая персонализированные рекомендации по изучению материала.

Школьникам предоставляются индивидуальные траектории обучения, основанные на их текущих знаниях и потребностях.

3. Интерактивные занятия.

Использование чат-ботов и голосовых помощников для проведения консультаций и ответов на вопросы обучаемых в режиме реального времени.

Проведение виртуальных лабораторий и симуляций, где ассистент выступает в роли наставника и контроллера процесса.

4. Мониторинг прогресса.

Постоянный мониторинг успеваемости школьников, выявление проблемных зон и своевременное предложение дополнительных ресурсов для их устранения.

Формирование аналитических отчетов для преподавателей, позволяющих быстро реагировать на изменения в учебной динамике [1].

Примеры использования ИИ в «СберОбразовании»:

– AI Tutor. Интеллектуальный ассистент, который помогает школьникам изучать материал, отвечает на вопросы, дает подсказки и предоставляет обратную связь. Может использоваться как для самостоятельного изучения, так и в рамках группового обучения.

– Smart Grading. Система автоматической проверки письменных работ, которая оценивает ответы учеников на основе заранее установленных критериев. Позволяет преподавателям сосредоточиться на анализе сложных случаев и предоставлении качественной обратной связи.

– Personalized Learning Paths. Алгоритмы ИИ создают индивидуальные образовательные маршруты для каждого ученика, учитывая его текущие знания, цели и предпочтения. Помогает обучающимся быстрее достичь поставленных целей и улучшить свои навыки.

– Virtual Labs. Симуляции и виртуальные лаборатории, где ученики могут экспериментировать и обучаться в безопасной среде без риска повредить оборудование или совершить ошибку. Ассистент контролирует процесс, дает инструкции и оценивает результаты экспериментов.

Заключение

Искусственный интеллект действительно стал мощным инструментом для модернизации образовательного процесса. Он позволяет автоматизировать рутинные задачи, персонализировать обучение, обеспечивать обратную связь в реальном времени и поддерживать дистанционное образование. Таким образом, интеграция технологий искусственного интеллекта существенно улучшает качество образовательного процесса, делая его более эффективным, удобным и доступным для всех участников.

Однако при внедрении таких систем необходимо учитывать этические аспекты, технические сложности и риски чрезмерной зависимости от технологий.

Список литературы

1. Бесшапошников, Н. О. Использование элементов искусственного интеллекта в виртуальных помощниках преподавателя / Н. О. Бесшапошников, М. С. Дьяченко, А. Г. Леонов, К. А. Мащенко // Успехи кибернетики. – 2020. – Т. 1, № 3. – С. 15-22.

2. Гоголева, В. Л. Искусственный интеллект (ИИ) – помощник учителя / В. Л. Гоголева. – Текст : электронный // Педагогический опыт. Всероссийский журнал. – 2024. – URL: https://www.pedopyt.ru/categories/12/articles/4444

3. Фурс, С. П. Искусственный интеллект в сфере образования – помощник педагога или «подрывная» технология? / С. П. Фурс // Преподаватель XXI век. – 2023. – №1-1. – С. 40-49.

Дистанционное обучение для детей с ДЦП: преимущества, недостатки и перспектива развития

А. В. Уваров, email: uvarowandrii@yandex.ru
Е. А. Михайлюк, email: gazon1978@yandex.ru

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ МИСИС).

Аннотация. *Статья рассматривает роль искусственного интеллекта (ИИ) и современных технологий в образовании, особенно в контексте дистанционного обучения для детей с ДЦП. Внедрение ИИ в образование сталкивается с вызовами, такими как недостаток качественных данных и необходимость формирования государственной политики.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, образование, дистанционное обучение, информационно-коммуникационные технологии, дети с ограниченными возможностями здоровья, детский церебральный паралич, качество обучения, этичность, виртуальное взаимодействие.*

Введение

В XXI веке мы наблюдаем слияние различных отраслей науки и технологий, в котором искусственный интеллект (ИИ) играет ключевую роль. Современные технологии стремительно приближают машинные программы к уровню человеческого интеллекта. ИИ зародился после создания электронно-вычислительных машин (ЭВМ) и работ Норберта Винера в области кибернетики. Термин "искусственный интеллект" был введен Джоном Маккарти в 1956 году, что стало важной вехой в развитии этой области. В настоящее время активно разрабатываются нейрокомпьютеры, прототипом которых служит биологический нейрон. Микроэлектроника и вычислительная техника открывают новые горизонты, позволяя решать задачи, ранее казавшиеся недостижимыми [1].

Применение искусственного интеллекта в образовании – это новое направление, которое сможет послужить для улучшения качества обучения. ИИ может помочь учителям и ученикам адаптироваться к индивидуальным потребностям и предпочтениям. Он помогает

© Уваров А. В., Михайлюк Е. А., 2025

преодолевать языковые и культурные барьеры благодаря автоматическому переводу и распознаванию речи. При необходимости ИИ может предлагать персонализированные образовательные ресурсы и оценивать прогресс обучения.

1. Перспективы и ограничения современных технологий и искусственного интеллекта в образовании

Предметом исследования являются перспективы и ограничения современных технологий и искусственного интеллекта в образовании. Основные функции искусственного интеллекта включают решение задач, обучение, рассуждение, планирование, восприятие, коммуникацию и творчество. Однако применение ИИ в образовании сопряжено с определенными проблемами и вызовами. К числу таких проблем можно отнести недостаток качественных данных, необходимость формирования комплексной государственной политики, обеспечение этичности и прозрачности в использовании ИИ, подготовку учителей к работе с этой технологией, защиту прав человека и персональных данных, предотвращение дискриминации и минимизацию неравенства в доступе к образованию [2].

При рассмотрении ИИ в образовании важно учесть дистанционное обучение с применением ИКТ (информационных компьютерных технологий). В современном мире такое направление становится всё более популярным и доступным для различных групп населения, и для детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ).

Детский церебральный паралич (ДЦП) – распространенное нарушение двигательной функции у детей, влияющее на качество жизни пациентов и их семей. Технологии ИИ могут предоставить новые методы обучения и поддержки. Машинное обучение, компьютерное зрение и робототехника открывают новые возможности для инновационных решений, включая персонализированные программы реабилитации, умные устройства и системы мониторинга. Интерактивные обучающие программы и ассистивные технологии могут помочь детям с ДЦП более эффективно учиться и адаптироваться.

Дистанционное обучение (ДО) – это система на расстоянии, основанная на взаимодействии учителя и учащихся, отражающая все компоненты учебного процесса и использующая ИКТ и интернет-технологии. Новые информационно-коммуникационные технологии позволяют обеспечить качественное образование для социально незащищенных групп населения.

Учитель должен быть готов к использованию новых технологий и методов обучения в дистанционном образовании. Неуверенность в себе отражается в контроле над профессиональными манипуляциями.

Оценка самоэффективности в предметной деятельности и межличностном общении отличается у учителей ДО и школы. Ученики с ОВЗ положительно относятся к учителям ДО в 38% случаев, нейтрально – в 50%, отрицательно – в 12% [3].

Дистанционное обучение является инновационным проектом, методика которого только формируется и совершенствуется. Равный доступ к качественному образованию является основой взаимодействия в образовательном процессе. Дети с ОВЗ признаются полноправными участниками образовательного процесса благодаря ратификации Конвенций ООН и Декларации ООН. Проблема права на доступное образование для людей с ограниченными возможностями здоровья актуальна из-за роста числа особенных детей. Инклюзивное образование является наиболее эффективным способом обеспечения равного доступа к образованию для всех обучающихся с особыми образовательными потребностями и индивидуальными возможностями. Инклюзия позволяет детям с особенностями обучаться в специальных образовательных организациях или совместно со здоровыми сверстниками.

Электронные учебно-методические комплексы для детей с ОВЗ включают компьютерные практикумы, учебные пособия, аудио-видеоматериалы и другие материалы. Электронная учебно-информационная среда (ЭУИ) обеспечивает разработку и корректировку когнитивных задач, презентацию учебного материала, организацию применения полученных знаний и обратную связь с учащимися. ЭУИ также включает специальное устройство или программное обеспечение – электронный мультимедийный учебник. Применение электронных учебно-методических комплексов в дистанционном обучении детей с ДЦП является рациональным выбором и создает новые возможности для особенных детей. Электронные учебники обладают простотой, способностью повышать мотивацию детей и удобством в использовании.

Дистанционное обучения способствует развитию творческих, интеллектуальных, гражданских и нравственных качеств личности. Инновационная модель образования детей с ОВЗ обладает гибкостью и учитывает индивидуальные особенности обучающихся. Она предоставляет возможность обучаться по индивидуальному учебному плану и использовать современные информационные технологии. Отечественный опыт применения ДО дает ему высокую оценку и отмечает множество преимуществ образовательного проекта. При организации дистанционного обучения педагогу необходимо учитывать различные факторы, влияющие на развитие ребенка с ДЦП. Этапы

организации занятий инновационного формата включают планирование и подготовку, сопровождение обучения, а также использование результатов обучения и итоговый анализ [4].

Дистанционное обучение имеет более чем 100-летнюю историю, начиная с отправки курсов по почте и заканчивая использованием виртуальной реальности и искусственного интеллекта. Исаак Питман в 1840 году поддержал идею обучения "по почте" и использовал ее для обучения стенографии. Он считал, что высшее образование должно быть доступно для всех желающих вне зависимости от национальности и финансового состояния. Такой формат обучения быстро приобрел популярность и был принят другими университетами разных стран. В результате появились специальные колледжи и курсы, построенные на модели обучения «по почте».

Чикагский университет в 1892 году внедрил инновационную модель образования в формате дистанционного обучения. Радио и телевидение стали важными инструментами в ДО. Первым был открыт университет в Великобритании, где студентам не нужно было посещать занятия в аудитории. В 1970-х годах появились первые виртуальные колледжи, использующие спутниковые станции. Совместное создание учебных программ между странами, например, СССР и США создали «школьную электронную почту» в 1988 году. Интернет стал ключевым фактором в развитии дистанционного образования в 80-90-х годах. В 1994 году компания CAL запустила первый онлайн-курс по программированию на языке C++. Ближе к концу 90-х появились платформы для онлайн-обучения, такие как WebCT и Blackboard. В 2000-х дистанционное обучение стало доминирующим, интернет-технологии развивались, количество университетов, использующих интернет-технологии, выросло. Blackboard стала владельцем обеих платформ. Открыты первые индивидуальные подходы к онлайн-обучению и разработаны компьютерные программы для разных предметов.

В 2011 году Себастьян Тран и Питер Норвиг открыли онлайн-курс по ИИ, который привлек более 160 000 студентов. Успех курса вдохновил другие университеты на открытие онлайн-курсов. MOOC (Massive Open Online Courses) – это массовые открытые онлайн-курсы, которые предоставляют бесплатный доступ к лекциям, материалам и общению с другими участниками. Эти курсы могут быть асинхронными или синхронными, а также предоставлять индивидуализированный подход к обучению [5].

Преимущества дистанционного обучения включают возможность учиться вне зависимости от географических и временных ограничений.

Выбор правильной компьютерной платформы для ДО важен для максимальной отдачи от образования. Zoom – одна из наиболее широко используемых платформ для дистанта, проста в использовании. Google Classroom – бесплатная облачная платформа, интегрируется с другими приложениями Google. Moodle – система управления обучением с открытым исходным кодом, легко настраивается, предоставляет функции для сотрудничества и взаимодействия. Microsoft Teams – платформа для совместной работы, интегрируется с другими приложениями Microsoft. Skype – приложение для интернет-телефонии и видеоконференций. Основные возможности: бесплатные и платные звонки, текстовые сообщения, обмен файлами, видеоконференции до 50 человек, запись звонков и видеоконференций. Существует множество видов ДО, включая онлайн-курсы и гибридные программы. Дистанционное обучение имеет ряд преимуществ: гибкость, удобство, доступность, индивидуальное обучение, глобальный доступ, улучшенные технологические навыки, тесное сотрудничество.

Дистанционное обучения имеет право на существование и развитие, предоставляя значимые возможности детям с ОВЗ. Виртуальное взаимодействие с учителями и сверстниками может активизировать особенного ребенка к познанию мира и преодолению бедности социального опыта. Эксперты видят в дистанционном образовании огромный потенциал. ДО становится все большей альтернативой традиционному образованию и может стать формой обучения в будущем.

Однако, на сегодняшний день данная модель имеет недостатки, такие как изоляция, проблемы с самодисциплиной, мотивацией, отсутствием структуры, технические сбои и трудности в адаптации учебно-методических комплексов. ДО требует разработки актуальных методов обучения и непрерывного самосовершенствования учителя и ученика. Стремительное развитие цифровых технологий и виртуального общения влияет на все сферы жизни и заставляет по-новому смотреть на средства получения знаний. Важно учитывать эти недостатки и оценивать, является ли онлайн-образование правильным выбором для ваших целей [6].

Заключение

Искусственный интеллект и современные технологии открывают новые горизонты в сфере образования, особенно в контексте дистанционного обучения. ИИ способствует индивидуализации образовательного процесса, преодолению преград и повышению качества образования для всех учащихся, включая детей с ограниченными возможностями здоровья. ДО становится всё более

востребованным, предоставляя гибкость и удобство. Для успешного внедрения дистанционного обучения необходимы современные методы и навыки как учителей, так и учеников. В перспективе ДО может стать основной формой получения образования, особенно для детей с ДЦП. Виртуальное взаимодействие с учителями и сверстниками может способствовать познанию мира и преодолению социальной изоляции. Необходимо стремиться к повышению качества образования, используя возможности современных технологий и искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Синельникова А. П. Сможет ли искусственный интеллект заменить человека? / А. П. Синельникова // Вестник науки. – 2020. – № 2(23). – С. 77-79.

2. Тулаков, У. Т. Перспективы развития искусственного интеллекта в образовании / У. Т. Тулаков // Новый Узбекистан: инновации, наука и образование. – Ташкент, 2023. – С. 16-19.

3. Ветвицкая, Т. В. Особенности личности учителя дистанционного надомного обучения, работающего с детьми с ДЦП / Т. В. Ветвицкая // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. – 2013. – № 162. – С. 302-306.

4. Сунагатуллина, И. И. Возможности дистанционного обучения в работе с детьми с ограниченными возможностями здоровья / И. И. Сунагатуллина, А. А. Пушкарева, О. В. Пустовойтова, Л. А. Яковлева // Современное педагогическое образование. – 2020. – № 6. – С. 136-141.

5. Федорова, М. А. От «почты» до искусственного интеллекта: эволюция дистанционного обучения в образовании / М. А. Федорова, Д. О. Лепехов // Вестник Шадринского государственного педагогического университета. – 2023. – № 2(58). – С. 162-167.

6. Муродова, Г. Б. Дистанционное обучение: будущее образования. Преимущества и недостатки дистанционного образования / Г. Б. Муродова // Universum: технические науки. – 2023. – № 5-1(110). – С. 55-57.

Искусственный интеллект в образовании: интеграция языков и информационных технологий

Т. А. Ушакова, email: sch2-2005@yandex.ru
Н. А. Гречишникова

МКОУ «Новоусманская СОШ № 2»

Аннотация. *В статье рассматривается роль искусственного интеллекта (ИИ) в образовательном процессе, акцентируя внимание на интеграции иностранных языков и информационных технологий. Авторы анализируют, как современные ИИ-решения способны повысить качество обучения, адаптируя учебные материалы к индивидуальным потребностям обучающихся и создавая персонализированные образовательные траектории.*

Ключевые слова: *образовательный контент, информационная система, IDEF-диаграмма.*

Введение

В результате наступления информационной эпохи каждый из нас всё чаще слышит «искусственный интеллект», «использование искусственного интеллекта», «прорыв в медицине в ходе применения искусственного интеллекта», и на этом список не заканчивается.

Искусственный интеллект (ИИ) – это технология, которая даёт возможность компьютеру имитировать работу человеческого мозга. Например, принимать решения на основе неполных данных или заниматься творчеством, придумывая что-то самостоятельно.

Это область исследований в области компьютерных наук, которая разрабатывает и изучает методы и программное обеспечение, позволяющие машинам воспринимать окружающую среду и использовать обучение и интеллект для выполнения действий, которые максимально увеличивают их шансы на достижение поставленных целей [1, 2]. ИИ применяется в самых разнообразных сферах: в бизнесе, в транспорте, в медицине, в образовании [3].

В данной статье мы рассмотрим интеграцию ИИ на уроках иностранного языка и информатики. ИИ может способствовать улучшению межпредметных связей этих учебных предметов.

© Ушакова Т. А., Гречишникова Н. А., 2025

1. Использование ИИ на уроках иностранных языков и информатики

На уроках иностранного языка ИИ позволяет адаптировать образовательный процесс под потребности каждого ученика, учитывая темпы усвоения материала, степень понимания и уровень знаний, его психотипа. Автоматизированные системы могут анализировать письменные и устные работы, выявлять ошибки и предлагать рекомендации по улучшению.

Онлайн-платформы предоставляют возможность для обратной связи в реальном времени, что позволяет учащимся задавать вопросы и получать помощь, когда это необходимо. Это создает более активную образовательную среду, где каждый участник процесса ощущает свою значимость.

Рассмотрим использование ИИ на примере различных платформ, используемых в образовательном процессе на уроках иностранного языка и информатики.

«Учи.ру» – крупнейшая российская образовательная онлайн-платформа. На ней ученики изучают школьные предметы в интерактивной форме по индивидуальной траектории, учатся программированию, развивают гибкие навыки, готовятся к всероссийской проверочной работе (ВПР) и общему государственному экзамену (ОГЭ), а также участвуют в олимпиадах. Заниматься на «Учи.ру» можно в школе и дома. С помощью ИИ система определяет по поведению ребёнка, сколько и каких заданий нужно, чтобы он освоил какой-то навык или знание. Система следит за количеством ошибок и правильных решений, за проведённым над задачей временем и, исходя из этого, выдаёт ребёнку следующее задание. Если ученик отвечает верно, система подбирает ему задание сложнее, неверно – задаёт уточняющие вопросы, которые приводят к правильному решению.

Также на платформе «Учи.ру» есть олимпиада по ИИ, которая даёт возможность детям погрузиться в мир ИИ и понять, как он работает на практике. Задания олимпиады моделируют реальные ситуации, с которыми дети могут столкнуться в интернете: общение в соцсетях, покупки на маркетплейсах, распознавание спама. В 2024-2025 учебном году Всероссийская олимпиада по искусственному интеллекту вошла в перечень олимпиад школьников и их уровней. Олимпиада находится в проекте приказа Министерства науки и высшего образования под номером 7.

Чат-боты – это программы, которые выясняют потребности пользователей, а затем помогают удовлетворить их. Автоматическое общение с пользователем ведётся с помощью текста или голоса.

Следовательно, чат-боты можно использовать для практики диалогов на изучаемом языке в начале урока. Эти боты, такие как Duolingo или Busuu, могут адаптировать уровень сложности в зависимости от индивидуальных способностей учащегося.

Quizlet – это интерактивная образовательная платформа, которая помогает пользователям учиться и повторять материал с помощью карточек, игр и тестов. Она предоставляет различные инструменты для изучения языков, науки, искусства и многих других предметов. На этапе закрепления материала полезно использовать данную платформу, где искусственный интеллект при создании интерактивных карточек с новыми словами и фразами, учащимися будет отслеживать их прогресс и предлагать дополнительные задания для углубленного изучения.

Google Speech API – сервис распознавания голоса Google. Данный сервис может помочь учащимся улучшить произношение и уверенность в разговоре на заключительном этапе урока.

Google Translate – веб-служба компании Google, предназначенная для автоматического перевода части текста или веб-страницы на другой язык с использованием ИИ. GT может помочь ученикам преодолеть языковой барьер на первоначальных этапах изучения языка. Однако, важно отметить, что этот инструмент должен использоваться с осторожностью, чтобы избежать зависимости и научить учащихся критически относиться к переводу.

Внедрение ИИ в учебный процесс на уроках информатики позволяет учащимся не только познакомиться с основами работы алгоритмов, но и развить критическое мышление и аналитические навыки. На начальном этапе урока можно использовать ресурсы, такие как интерактивные платформы, где ученики смогут изучить основы машинного обучения с помощью простых примеров и визуальных инструментов.

Следующим этапом является выполнение конкретных заданий с использованием ИИ. Например, учащимся можно предложить создать свою простую модель на основе доступных данных, обучив её предсказывать результаты определенного события. Это может быть, например, прогнозирование погоды или оценка качества продуктов. Ресурсы вроде Google Colab позволяют легко экспериментировать с кодом без необходимости установки сложного программного обеспечения.

На практической части урока полезно использовать среды программирования, такие как Scratch или Python. Ученики могут создать простые проекты, которые интегрируют элементы ИИ, например, чат-бота. Задания могут включать создание скриптов с использованием

библиотеки TensorFlow для анализа данных или распознавания изображений.

На завершающем этапе занятия стоит провести обсуждение, где учащиеся смогут поделиться своими проектами и получить обратную связь. Платформы, такие как Google Classroom, могут помочь в организации этих обсуждений, позволяя ученикам оставлять комментарии и оценки. Таким образом, уроки информатики становятся интерактивными и вдохновляющими благодаря внедрению искусственного интеллекта.

Обучающиеся могут создавать изображения с помощью технологий ИИ. На данный момент существует несколько бесплатных нейросетей, которые могут генерировать изображения по текстовым запросам. Некоторые из наиболее популярных:

DALL-E Mini (или Craiyon) – это упрощенная версия DALL-E от OpenAI, которая позволяет создавать изображения на основе текстовых описаний. Вы можете попробовать генерировать изображения, используя текстовые подсказки.

Stable Diffusion – это мощная модель, которая позволяет создавать изображения на основе текстовых запросов. Существуют онлайн-платформы, которые предоставляют доступ к этой модели бесплатно.

DeepAI Text to Image – еще один онлайн-генератор, который позволяет создавать изображения на основе текстовых описаний.

Для видео генерации существует меньше доступных инструментов, но можно обратить внимание на такие технологии, как RunwayML – это платформа для творчества и генерации медиа, которая включает инструменты для создания видео на основе текстовых описаний. Однако могут быть ограничения на бесплатный доступ.

В заключение, важно провести обсуждение и рефлексию. Ученики должны поделиться тем, что они узнали, а также обсудить, как ИИ может быть использован в различных сферах жизни. Это поможет не только закрепить знания, но и развить осознание взаимосвязи технологий и гуманитарных аспектов.

Заключение

Использование искусственного интеллекта помогает не только учащимся, но и учителям, «мостику» между учениками и ЗУНами. ИИ позволяет учителям легче адаптировать учебные планы под потребности каждого ученика. Системы на основе ИИ способны анализировать результаты тестов и активность учащихся, выделяя слабые места и предлагая индивидуализированные рекомендации. Это позволяет оптимизировать процесс обучения, сделать его более целенаправленным и эффективным. При этом важно учитывать, что внедрение технологий

требует подготовки учителей. Курс повышения квалификации и профессиональная поддержка станут ключевыми факторами успешного освоения новых методов обучения. Педагоги должны быть готовы не только применять ИИ и виртуальные технологии, но и адаптировать свои подходы к разнообразным стилям обучения учеников. Все это позволит создать более комфортную и продуктивную единую образовательную среду.

Также стоит отметить, технологические решения могут быть использованы для индивидуализации обучения. Применение адаптивных программ позволит каждому ученику обучаться в своем темпе, получая задания, соответствующие его уровню и интересам. Это позволит не только повысить эффективность обучения, но и сформировать у учащихся устойчивую мотивацию к изучению языка и программированию.

Список литературы

1. Тьюринг А. Вычислительные машины и разум / Алан Тьюринг ; [пер. с англ. К. Королева]. – Москва : АСТ, 2018. – 125, [2] с.

2. Лекун Я. Как учится машина : революция в области нейронных сетей и глубокого обучения / Ян Лекун ; перевод с французского Е. Арсеновой. – Москва : Альпина ПРО, 2021. – 334 с.

3. Холмс У. Искусственный интеллект в образовании : перспективы и проблемы для преподавания и обучения / У. Холмс, М. Бялик, Ч. Фейдел ; перевод с английского – В. Скворцов. – Москва : Альпина ПРО, 2022. – 301, [1] с.

Секция 4
Подготовка ИТ-инженеров для решения задач цифровизации промышленности и бизнеса

Методическая роль дисциплины «Технологии и методы программирования»

В. Г. Хлебостроев, email: vgh2006@mail.ru

Воронежский государственный университет

Аннотация. *Обсуждаются методические аспекты преподавания дисциплины «Технологии и методы программирования», её роль в подготовке IT- специалистов.*

Ключевые слова: *технологии, программные средства, этапы разработки, системный анализ, программный код.*

Введение

Изучение дисциплины «Технологии и методы программирования» предусмотрено учебным планом бакалавров направления подготовки 10.03.01 Информационная безопасность в третьем учебном семестре. Она является одной из составляющих цикла дисциплин, имеющих своей целью овладение студентами знаниями и практическими навыками в сфере разработки программных средств различного назначения.

1. Методическая роль дисциплины «Технологии и методы программирования»

В первом и во втором семестрах студенты этого и других направлений подготовки изучают основы программирования на базе одного из языков высокого уровня (в настоящее время – языка Java) и элементами теории алгоритмов. На практических и лабораторных занятиях ими выполняется серия заданий, направленных на закрепление полученных знаний и приобретение навыков работы со средами разработки. Следующим логическим шагом является переход от овладения инструментарием к началу его использования, что и является основной задачей, решаемой дисциплиной Б1.О.31 Технологии и методы программирования. В рамках лекционной части соответствующего курса вводится понятие технологии разработки программных средств как инженерной деятельности, основанной на совокупности принципов и практик, обеспечивающих создание программных продуктов требуемого качества, рассматриваются отдельные этапы фазы разработки их жизненного цикла. Успешное овладение новыми концепциями невозможно без использования их на практике в рамках лабораторного практикума. Особенностью заданий

© Хлебостроев В. Г., 2025

практикума является их существенно менее формальная, по сравнению с привычной для студентов, постановка, а также связь с той или иной предметной областью.

Представляется необходимым предоставить каждому студенту возможность освоить основы деятельности на каждом из этапов разработки, поэтому, во-первых, задания являются сквозными и выполняются в течение всего семестра, во-вторых, являются индивидуальными. Выполнение заданий мини-группами возможно на следующем этапе овладения технологиями программной инженерии, связанном с пониманием распределения ролей и координацией работ. В качестве конечной цели перед студентом ставится задача получения работающего приложения в результате выполнения полного цикла разработки – системного анализа, проектирования, кодирования и тестирования с созданием соответствующих артефактов. Разработка должна быть проведена в рамках объектно-ориентированной парадигмы.

К сожалению, ограниченность сроков одним семестром не позволяет реализовать инкрементную модель разработки и продемонстрировать важность этапа системного анализа для успешной реализации проекта. Студентам трудно понять, почему вместо того, чтобы непосредственно приступить к написанию кода, приходится заниматься выделением сущностей и построением концептуальной модели предметной области. Как правило, понимание необходимости такого анализа приходит на этапе кодирования, когда приходится проявлять чудеса изобретательности, чтобы заставить приложение хоть как-то работать.

Основным типом приложений, предлагаемых к разработке, являются информационные системы справочно-поискового типа, применяемые в различных сферах деятельности: здравоохранении, образовании, торговле и т.д. Предназначение подобных приложений достаточно очевидно, что позволяет в большинстве случаев сделать описание предметной области и построить ее концептуальную модель. Главная проблема студентов заключается в том, что описание предметной области и деятельности людей они заменяют описанием задач, решаемых ещё не существующим приложением.

Пример такого описания:

«Деканат» – это информационная система, предназначенная для автоматизации управления учебным процессом в образовательных учреждениях. Система предоставляет инструменты для учета студентов, предметов, и результатов их аттестации, что позволяет обеспечить оперативное взаимодействие между студентами, преподавателями и

администрацией деканата. Основные функции системы включают управление списком студентов, дисциплин, а также учет и анализ аттестационных результатов.

Конец примера.

Этап системного анализа требует творческого подхода и не сводится к простому выполнению определенной последовательности действий на основе некоторого шаблона. Фактом является то, что студенты в подавляющем большинстве психологически не готовы к такой работе. Выходом из этой ситуации может быть либо индивидуальная работа с каждым студентом, либо определенная формализация требований к результатам анализа. На практике приходится сочетать оба этих подхода, делая упор на том или ином из них в зависимости от возможностей конкретного студента. С методической точки зрения это очень важная часть работы, позволяющая студентам соприкоснуться с проблемами реального мира, оценить возможность применения программных средств в той или иной сфере деятельности.

На этапе системного анализа должны быть определены границы ответственности приложения и построена концептуальная модель соответствующей части предметной области. Как правило, начинающие разработчики необоснованно расширяют эти границы, легко включая в функциональные требования возможности, которые потом не могут реализовать. Это не является большой проблемой, поскольку сравнение заявленного и реализованного может способствовать формированию более реалистичного представления о своем уровне квалификации и, возможно, возникновению потребности в его повышении.

Построение концептуальной модели способствует углублению понимания студентами сути процесса моделирования, как деятельности по выделению сущностных аспектов реальных систем и процессов. Применительно к моделированию предметной области задача заключается в правильном выделении в ней основных сущностей и их значимых характеристик, т.е. в определении концептуальных классов и связей между ними. На завершающей стадии этапа системного анализа студенты должны специфицировать функциональные требования, представив их в виде диаграммы прецедентов, учитывающей точки зрения на систему всех её потенциальных пользователей.

Преобразование концептуальных классов в программные, выполняемое на этапе проектирования, наглядно демонстрирует переход от концептуальной к программной модели, в которой реальные объекты заменяются их образами – экземплярами программных классов. В качестве архитектурного решения большинство студентов используют

шаблон «клиент-сервер», используя в качестве клиентской части либо браузер, либо отдельный модуль приложения. В последнем случае им предоставляется возможность познакомиться с очень интересным и хорошо продуманным подходом к реализации графического пользовательского интерфейса (GUI) на платформе Java. Событийное управление ходом выполнения приложения, а также используемая в Java концепция обработки событий на основе нескольких простых интерфейсов, позволяют получить более полное представление об объектно-ориентированной парадигме программирования, Проектирование пользовательского интерфейса тесно связано с анализом прецедентов (вариантов использования приложения). Методически целесообразно с этого момента сосредоточить усилия студента на реализации в полном объеме одного из выбранных прецедентов. Это потребует описания сценария выполнения прецедента, выбора классов, участвующих в реализации сценария, детальной проработки методов этих классов, а также источников и структур данных. Ограничение разработки лишь одним из прецедентов позволяет, во-первых, в ограниченные сроки провести полный цикл разработки и получить готовый прототип приложения, во-вторых, избежать ситуации, при которой студент к концу семестра представляет готовое приложение без каких-либо объяснений, как и откуда оно получено.

В рамках реализации выбранного прецедента проектируется основное и, при необходимости, дополнительные окна с соответствующими наборами элементов управления. Очень важно обращать внимание студента на соблюдение требования эргономичности интерфейса, как одного из важнейших нефункциональных требований к программному средству. Проблема состоит в том, что выбор управляющих элементов, способа их размещение в пределах окна, содержания и стиля оформления поясняющих надписей выбираются студентом, в лучшем случае, в соответствие с собственными предпочтениями, в худшем – по принципу минимизации собственных усилий. Поэтому крайне важно убедить студента в необходимости (хотя это бывает очень непросто) попытаться взглянуть на свое изделие глазами другого человека, имеющего о нем лишь самые общие представления. Формирование такого навыка – важная составляющая подготовки профессионала в сфере разработки программных средств.

Обязательной составной частью этапа проектирования приложения является проектирование структур данных. Реализация любого прецедента предполагает получение некоторых входных данных и, как правило, формирование набора выходных данных. Входные данные

могут быть получены непосредственно от пользователя через средства GUI, либо считаны из внешних хранилищ, либо, наконец, переданы через промежуточные структуры как результат выполнения других прецедентов. В случае реализации отдельного прецедента последний способ получения входных данных моделируется применением «заглушки», т.е. считыванием данных из заранее подготовленного текстового файла. В качестве внешних хранилищ могут использоваться как текстовые файлы, так и базы данных. Возможность использования базы данных позволяет студентам на практике применить знания, полученные ими в процессе изучения параллельно читаемого курса «Управление данными», научиться выполнять подключение СУБД к прикладным программам.

На заключительном этапе разработки создается программный код на языке Java, хотя допускается, в виде исключения, использование и других языков программирования (Python, C++, C#). Предпочтительность использования Java связана с тем, что именно этот язык и среда разработки IntelliJ IDEA использовались в качестве инструментария при изучении студентами основ программирования в первом и втором семестрах. Практически одновременно с написанием кода проводится его функциональное тестирование – вручную с использованием подготовленных тестовых наборов или с помощью средств автоматического тестирования.

Заключение

Таким образом, дисциплина Б1.О.31 Технологии и методы программирования может рассматриваться, с одной стороны, как одна из составляющих «программистского» цикла, с другой – как дисциплина интегрирующего типа, изучение которой требует привлечения информации из других, смежных, дисциплин. Кроме того, выполнение полного цикла разработки относительно простого приложения может оказаться полезным перед изучением дисциплины Б1.О.22 Информационные технологии.

Список литературы

1. Артюхин, В. В. Обучение программистов: подход на основе парадигмы специалиста / В. В. Артюхин, И. А. Семенов // Прикладная информатика. – 2012. – № 1(37). – С. 57-68.
2. Брауде, Э. Технология разработки программного обеспечения. / Э. Дж. Брауде. – СПБ. Питер, 2004. – 655 с.
3. Машнин, Т. Введение в объектно-ориентированный дизайн с Java. / Т. Машнин. – «Автор», 2022. – 217 с.

Секция 5
Компьютерное моделирование в образовании

Изучение 3D-моделирования в концепции целостной системы образования «школа – ВУЗ – индустриальный партнер»

А. Е. Беляев, email: bae11@yandex.ru[1, 2]
М. М. Беляева, email: mmb12@ yandex.ru[1]

[1] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева»
[2] Муниципальное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа № 23 имени С. И. Грудинского

Аннотация. *Рассмотрены аспекты изучения систем автоматизированного проектирования в контексте непрерывного образования. Описан опыт реализации данной концепции на примере взаимодействия школ, университета и предприятий города Рыбинск.*

Ключевые слова: *3D-моделирование, САПР, Передовая инженерная школа.*

Введение

В настоящее время компьютерное моделирование присутствует практически во всех сферах жизни человека. Как следствие, темы, связанные с изучением принципов компьютерного моделирования, вводятся в образовательные стандарты среднего и высшего образования. Особого внимания заслуживает построение 3D-моделей объектов. Этот вид компьютерного моделирования не только достаточно нагляден, интуитивно понятен для изучения, но и позволяет развить навыки пространственного мышления, а также широко применяется в инженерных профессиях. Изучение 3D-моделирования позволяет развить таланты учащихся в проектной деятельности, научить творчески мыслить, создавать новое, при этом оставаясь в рамках реальных возможностей существующих материалов и технологий. В рамках школьного курса изучения информатики темы, связанные с 3D-моделированием, присутствуют в небольшом, ознакомительном количестве, особенно при изучении информатики на базовом уровне.

На рынке труда растёт спрос на квалифицированных инженеров, что требует обеспечения высокого уровня подготовки в высших учебных заведениях (ВУЗ). Навыки 3D-моделирования необходимы для специалистов различных профессий, что обуславливает присутствие соответствующих дисциплин в учебных планах.

© Беляев А. Е., Беляева М. М., 2025

Растёт объём информации и навыков, которые необходимо освоить специалисту. Это требует ускорения процесса адаптации студента к условиям ВУЗа, а также упрощения перехода к изучению новых дисциплин. В работе [1] выявлено, что проблемы с адаптацией студента к новому формату образовательной деятельности являются одним из значимых факторов, влияющих на количество отчислений из ВУЗа. Актуальной является задача обеспечения ускорения адаптации студентов к новому формату учёбы – обеспечение «бесшовного» перехода с уровня среднего общего образования (школы) на уровень высшего профессионального образования (ВУЗ).

1. Особенности изучения 3D-моделирования в средних общеобразовательных учреждениях

Темы, связанные с 3D-моделированием, входят в учебные программы по предметам Информатика и Труд (технология). Однако количество выделяемых на них часов невелико, особенно при базовом уровне изучения. При этом учащиеся получают общие знания, а также простейшие навыки, позволяющие адаптироваться к повседневной жизни. В связи с большим числом обучающихся разного уровня подготовки и мотивации в большинстве случаев используются простые программы, не получившие широкого распространения в профессиональной, особенно инженерной среде [2]. Зачастую выбор отдаётся программам, осуществляющим визуальное моделирование, что оправдано на начальных этапах, когда целью является знакомство с технологиями и развитие межпредметных навыков.

Помимо знакомства с современными технологиями, одной из целей применения 3D-моделирования в школах является развитие у учащихся пространственного мышления, как межпредметного навыка. Достигнуть этой цели возможно при использовании простых программ, применяющих полигональное моделирование, а также построение визуальных образов. Кроме того, на развитие пространственного мышления у школьников направлено изучение стереометрии [3]. Помимо физических моделей различных тел на уроках стереометрии всё чаще применяются средства компьютерного моделирования и ряд специально разработанных для изучения геометрии и, в частности, стереометрии программ. Их особенностью является направленность именно на визуализацию изучения курса геометрии, однако они малопригодны для инженерного проектирования. Таким образом, задача развития пространственного мышления, как междисциплинарного навыка, решается в рамках нескольких предметов достаточно хорошо.

Однако, если целью является подготовка школьников к дальнейшему освоению образовательных программ технической

направленности среднего специального и высшего образования, возникает разрыв между изучением 3D-моделирования в школе и в ВУЗе. В ВУЗах применяются профессиональные системы автоматизированного проектирования (САПР), используется преимущественно твердотельное моделирование с соблюдением точных размеров и параметров моделей. Нельзя сказать, что применение в рамках школьного общеобразовательного курса данных программных продуктов невозможно, однако оно затруднено по ряду причин:

- сложность профессиональных систем для освоения;
- недостаточная квалификация учителей;
- малое отведенное время в рамках курсов;
- лицензионные ограничения ряда программных продуктов;
- высокие системные требования профессиональных программ.

Различная подготовка учащихся, особенно в области геометрии и черчения, затрудняет применение профессиональных САПР в рамках основных уроков. Применение сложных САПР для всех учащихся может повлечь возникновение трудностей у многих обучающихся, что приводит не только к снижению успеваемости, но и к потере мотивации.

Недостаточная квалификация учителей отчасти также является следствием сложности профессиональных САПР [4]. Это связано с относительно недавним внедрением модулей по 3D-моделированию в образовательные программы. Некоторые проблемы возникают и с повышением квалификации педагогических кадров. Частично это связано с большим количеством изменений в курсах информатики и труда (технологии), что приводит к необходимости освоения большого объёма новых навыков учителями данных предметов без отрыва от основной деятельности. Такая нагрузка может становиться непосильной и, как следствие, страдает качество подготовки учителей.

Малый объём часов, отведенных на модули, связанные с 3D-моделированием, негативно влияет на возможность применения на уроках профессиональных систем. При таком объёме изучить большинство возможностей, отличающих профессиональные системы от базовых, практически невозможно. Как следствие, функционал, изучаемый в рамках курса, приближается к функционалу более простых программ, что приводит к выбору именно их.

Ещё одним фактором, ограничивающим применение профессиональных САПР в школах, является достаточно высокие системные требования. Особо следует отметить, что некоторые программы работают только с операционными системами семейства Windows, что делает невозможным их применение в школах, где установлены операционные системы семейства Linux.

Подводя итог, можно отметить, что на данных момент изучение 3D-моделирования ведется в рамках модулей нескольких общеобразовательных предметов. При этом возможно возникновение рассогласования между подходами разных учителей даже в рамках одной школы, что повышает нагрузку на учащихся и может быть фактором, снижающим мотивацию к изучению.

В рамках освоения базовых курсов общеобразовательных предметов наибольшую популярность в школах получили простые системы визуального моделирования. Это является следствием ряда объективных причин и не является проблемой само по себе. Однако отсутствие подготовки школьников к работе в специализированных системах инженерного проектирования является проблемой для выпускников, выбирающих технические направления для продолжения обучения. У них может возникнуть проблема адаптации к новому формату образовательного процесса. Данная проблема будет одним из следствий рассогласования средств и программных продуктов, используемых в ВУЗах и в школах. Помимо этого, принципы полигонального и визуального проектирования, находящие распространение в школах, существенно отличаются от принципов инженерного параметрического моделирования. Это может являться дополнительным стрессовым фактором для студентов.

Одним из вариантов решения данной проблемы является внедрение в школах дополнительных курсов внеурочной деятельности, связанных с изучением инженерного 3D-моделирования. Необязательность данных курсов приводит к тому, что их выбирают заинтересованные, замотивированные учащиеся, которые планируют связать свою жизнь с инженерной профессией. Выделение изучения инженерного моделирования в отдельный курс снимает проблему нехватки учебных часов, отводимых на модули в общеобразовательных предметах.

Проблему недостаточной квалификации учителей можно решить целенаправленным повышением квалификации одного педагога, который будет вести данный курс, либо привлечением стороннего специалиста ВУЗа или предприятия, однако число таких специалистов мало и их привлечение во все школы невозможно.

2. Специфика изучения 3D-моделирования в ВУЗе

Основные тенденции развития современного производства: внедрение перспективных технологий; высокая степень автоматизации и цифровизации производственных процессов и предметов труда.

Экономически эффективными будут предприятия, которые смогут быстро адаптироваться к новым условиям и перейти на качественно новые цифровые технологии. Растет потребность в специалистах,

ориентированных на применение цифровых технологий. Создание цифровых двойников изделий позволяет существенно сократить время проектирования и технологической подготовки производства, автоматизировать этапы жизненного цикла изделия. Цифровая модель включает в себя математическую, физическую и геометрическую модель. 3D-моделирование является неотъемлемой частью цифрового двойника изделия. 3D-модель служит информационной основой для выполнения ряда расчетов, оптимизации изделия, формирования технологической информации для изготовления изделия (рис. 1).

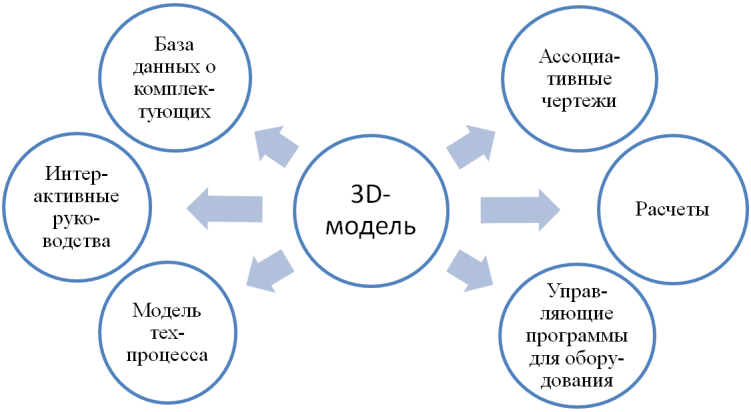


Рис. 1. Значение 3D-модели в формировании элементов структуры цифрового двойника изделия

Предприятия нуждаются в квалифицированных кадрах, владеющих навыками виртуального инжиниринга: 3D-моделирования (CAD), дизайна, инженерного анализа (CAE), технологической подготовки производства (CAM, CAPP). Таким образом, перед ВУЗами стоит задача подготовки востребованных специалистов в условиях ограниченного времени и высоких требований к их квалификации.

Подготовка инженерных кадров для промышленных предприятий в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования третьего поколения (ФГОС ВО 3++), кроме прочего, предполагает формирование следующих компетенций:

– способность применять методы графического представления объектов профессиональной деятельности;
– способность представлять техническую документацию в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации;

– способность использовать стандартные средства автоматизации при проектировании объектов профессиональной деятельности.

Одним из основных способов получить данные компетенции является изучение и применение в практической деятельности САПР, поддерживающих твердотельное моделирование, которое является на текущий момент самым достоверным методом создания цифровой копии реального объекта. К таким системам относят AutoCAD, Inventor, NX, T-Flex CAD, CATIA, SolidWork, КОМПАС-3D.

Основная трудность изучения – ограниченный объём учебных часов в рамках двух-трёх дисциплин. За это время обучающийся должен пройти все уровни усвоения учебной информации (по В.П.Беспалько): от узнавания и воспроизведения к применению и творчеству. Изучение основ работы в системах 3D-моделирования в рамках общего образования позволяет достичь уровня узнавания и воспроизведения, тем самым увеличивая время для более глубокого освоения учебного материала в высшей школе. Полученные знания применяются в последующих изучаемых дисциплинах, производственных практиках, курсовом и дипломном проектировании. Однако этого оказывается недостаточно для быстрой адаптации выпускника ВУЗа к специфике конкретного предприятия.

Основная тенденция дальнейшего развития подготовки специалистов в области компьютерного моделирования и, в частности, 3D-моделирования – это практикоориентированность, то есть деятельность, направленная на решение реальных задач, поставленных предприятиями-партнёрами.

3. Вариант построения системы целостного непрерывного освоения 3D-моделирования на разных уровнях образования

Решением проблемы рассогласования изучения 3D-моделирования в школах и в технических ВУЗах может служить активное внедрение курсов внеурочной деятельности в школах и применение в процессе их реализации профессиональных инженерных САПР. При этом целесообразно использовать в школах те системы, которые широко распространены как в ВУЗах, так и на предприятиях. Это позволяет обучающемуся начать изучение САПР ещё в основной школе, и в последствии, углубив и расширив свои знания и навыки, применять её же в своей профессиональной деятельности, что позволяет снизить стресс от перехода на новый уровень обучения. Помимо этого, такие курсы могут входить в систему ранней профессиональной ориентации школьников. Работа на курсах внеурочной деятельности ведётся в меньших группах, чем на уроках, что позволяет больше использовать индивидуальных подход к учащимся.

Такая работа ведется в системе образования города Рыбинск. В частности, в СОШ № 23 реализуется курс внеурочной деятельности «Инженерное 3D-моделирование и прототипирование». Курс реализуется в рамках федерального проекта по созданию инженерных классов авиастроительного направления в общеобразовательных организациях субъектов Российской Федерации. Данный курс рассчитан на 2 года по 34 часа в год (общий объём 68 часов).

Педагогические работники, реализующие данный курс, имеют высшее техническое образование и прошли курсы повышения квалификации в ФГБОУ ВО МАИ по курсу «Аддитивные технологии в промышленности и дизайне». Материально-техническое оснащение курса состоит из компьютеров (принцип «1 ученик – 1 компьютер»). В качестве программного обеспечения выбрана современная отечественная САПР КОМПАС-3D. Выбор в пользу данной САПР был сделан в связи её широким распространением в ВУЗах, а также в производственных компаниях. Функционал и возможность параметрического моделирования позволяет дополнительно развивать пространственное мышление школьников за счет возможности масштабирования деталей, а также прогнозирования изменений геометрии детали при изменении параметра.

Рабочая программа курса соответствует федеральной образовательной программе и ФГОС. Курс охватывает способы построения 3D-моделей: по чертежу; по натурному объекту с использованием измерительных инструментов; деталей типа тела вращения; листовых деталей; изготовление разработанных деталей на 3D-принтере. Данная структура курса позволяет обучающимся получить базовые, общеинженерные навыки работы с САПР, а также освоить принципы и правила технического 3D-моделирования. Стоит отметить, что построение деталей по натурному образцу позволяет развить навык «измерительного» мышления – способность определения параметров детали, необходимых для её создания.

Помимо освоения курса, учащиеся выполняют творческие проекты с использованием 3D-моделирования, с которыми участвуют в муниципальных и региональных конкурсах. Это позволяет осваивать навыки проектной деятельности, публичных выступлений, а также развивать творческие способности учащихся. Выпускники школы, освоившие данный курс лучше подготовлены к обучению в ВУЗах, что позволяет снизить адаптационный стресс студентов.

Другим вариантом обеспечения бесшовного изучения 3D-моделирования на разных уровнях образования, является активное сотрудничество средних общеобразовательных организаций с ВУЗами.

Примером такого взаимодействия может являться реализуемый в городе Рыбинск РГАТУ имени П. А. Соловьёва проект «Интеллектуальный реактор». Он позволяет обеспечить взаимодействие учеников 10-х классов школ города (помимо СОШ № 23, которая является участником проекта уже 4 года, в нем участвуют практически все школы города) с высококвалифицированными преподавателями ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева». В рамках данного проекта ВУЗ предлагает ученикам на выбор 16 лабораторий (в том числе связанных с 3D-моделированием), возглавляемых преподавателями университета. В процессе еженедельных занятий учащиеся знакомятся с интересующей их научно-прикладной областью и выполняют работу над проектом.

Такой подход позволяет школьникам существенно развить свои навыки в интересующей их области, расширить кругозор, а также познакомиться с ВУЗом, формой проведения занятий преподавателями университета. Кроме того, учащиеся развивают навыки проектной деятельности и взаимодействия в новом коллективе, так как группы, занимающиеся в лабораториях, формируются из учащихся разных школ.

Для ВУЗа такой подход позволяет принять участие в профессиональной ориентации школьников, познакомить учеников школ города со своими возможностями, материально-технической базой и привлечь внимание учащихся к актуальным вопросам науки и практики. ВУЗ участвует в подготовке школьников к освоению образовательных программ высшего образования, что позволяет получить более подготовленных абитуриентов.

Два выпуска участников проекта закончили освоение средних общеобразовательных программ. Отмечено, что бывшие участники проекта, поступив в ВУЗы, лучше и быстрее адаптировались к новому формату обучения. Особенно легко процесс адаптации прошёл у тех, кто выбрал РГАТУ имени П. А. Соловьёва и направление подготовки, связанное с освоенным во время участия в проекте. Во многом на академическую и социальную адаптацию повлияло то, что учащиеся были подготовлены по данному направлению и знакомы с форматами проведения занятий в университете, с преподавателями и с некоторыми одногруппниками, участвовавшими в проекте в этой же лаборатории.

Изучение 3D-моделирования в ВУЗе направлено на углубление имеющихся знаний, умений и навыков твердотельного моделирования; параметрического конструирования; ассоциативной геометрией, обеспечивающей двустороннюю информационную взаимосвязь между геометрической моделью, конструкторской базой данных, расчётными моделями, программами управления технологическим оборудованием.

Особенностью обучения в университете является его практикоориентированность. Студенты, начиная с первого курса, имеют возможность работать на предприятиях-партнерах. Формат взаимодействия с промышленным партнёром может быть различным: рабочие профессии, студенческие конструкторские бюро, проектная деятельность (акселератор RybAcc), дуальные лаборатории (рис. 2).



Рис. 2. Структура системы непрерывного образования

В РГАТУ имени П. А. Соловьёва реализуется федеральный проект «Передовые инженерные школы» (ПИШ), запущенный по инициативе Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и направлен на подготовку квалифицированных инженерных кадров для высокотехнологичных отраслей экономики [5]. В рамках этого проекта студенты, выполняя прикладные разработки на базе университета и предприятия-партнёра совместно с опытными специалистами, применяют полученные навыки 3D-моделирования, развивают творческое мышление. Работа на базе предприятия позволяет студенту определить траекторию своего обучения, а предприятию – влиять на подготовку специалистов, определяя перспективные направления обучения и пополняя свои кадровые ресурсы.

Заключение

Применение 3D-моделирования в образовании способствует развитию пространственного мышления, повышает заинтересованность в изучении базовых общеобразовательных и технических дисциплин.

Эффективное изучение 3D-моделирования обеспечивается формированием целостной системы образования «школа – университет – индустриальный партнер». Реализация такой системы образования достигается внедрением проектов «Инженерные классы» в общеобразовательных учреждениях и «Передовая инженерная школа» в

университетах. Проекты реализуются по поручениям Президента Российской Федерации для обеспечения технологической независимости страны. Для выстраивания такой системы заключено трёхстороннее соглашение о сотрудничестве в рамках реализации образовательного проекта «Инженерные классы авиастроительного профиля» между средней образовательной организацией (школа), ВУЗом (РГАТУ имени П. А. Соловьёва в рамках проведения мероприятий по профессиональной ориентации ПИШ «Технологии двигателестроения»), а также одним из ведущих предприятий региона.

В результате построения целостной системы достигаются следующие результаты:

- повышение мотивированности школьников и студентов в изучении теоретических дисциплин;
- возможность применения ими полученных знаний на практике;
- сокращение времени адаптации обучающегося на каждом уровне образования;
- обеспечение промышленных партнёров квалифицированными кадрами;
- своевременное реагирование на потребности экономики в подготовке специалистов нужного профиля за счёт обратной связи от предприятий.

Список литературы

1. Горбунова Е. В. Влияние адаптации первокурсников к университету на вероятность их отчисления из вуза // Universitas. Журнал о жизни университетов – М.: ВШЭ – 2013 – № 2 – С. 59-84.

2. Кривулина В. В. Анализ программного обеспечения для преподавания 3D-моделирования в общеобразовательных организациях // Молодой ученый. – 2023. – № 49 (496) – С. 168-170.

3. Истратий А. В. Возможности использования программ трехмерного моделирования при изучении стереометрии в основной школе // Вестник науки и образования. – 2019. – №8-3 (62). – С. 27-30.

4. Беликова Р. М., Богомолов С. А. 3D-моделирование как метод реализации проектной деятельности обучающихся при изучении биологии // Перспективы развития высшей школы: материалы IV Международной научно-практической конференции (20 мая 2023 г., г. Сургут) – Т. 4. – С. 223-227.

5. Программа развития передовой инженерной школы Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» на 2023–2030 годы. – Рыбинск, РГАТУ, 2023. – 92 с.

К содержанию практических занятий по модулю «Системы поддержки принятия решений» учебной дисциплины «Информационные технологии в управлении»

А. З. Каримов, email: vomiraka@yandex.ru

Ташкентский государственный юридический университет

Аннотация. *В докладе обсуждены возможности некоторых систем поддержки принятия решений, изучение которых в рамках учебной дисциплины «Информационные технологии в управлении» укрепляет знания и навыки студентов по альтернативным методам и средствам принятия решений.*

Ключевые слова: *система поддержки принятия решений, «QM for Windows», MPriority, SPSS, MiniTab, экспертная система, нейросетевая технология.*

Введение

В учебной дисциплине «Информационные технологии в управлении», естественно, содержатся темы, направленные на формирование, обогащение и укрепление профессиональной компетентности будущего специалиста. К тому же, в число основных предметов большинства направлений образования, в которых готовят специалистов в области управления, входит дисциплина «Информационные технологии в управлении» и, по нашему мнению, включение темы «Системы поддержки принятия решений» в состав данной дисциплины является целесообразным, исходя из требований быстротечной современной эпохи.

Если учебная дисциплина «Системы поддержки принятия решений», входящая в профиль «Проектирование и разработка систем искусственного интеллекта» основной профессиональной образовательной программы по специальности «Информационные системы и технологии» [1], предназначена для специалистов именно данной сферы, то в рамках учебной дисциплины, преподаваемой для студентов социально-гуманитарного направления, тема «Системы поддержки принятия решений (СППР)» призвана предоставить студентам начального курса бакалавриата ориентировочный минимум знаний и навыков пользовательского уровня.

Процесс принятия решений представляет собой уникальный интеллектуальный аналитический процесс, требующий необходимых

© Каримов А. З., 2025

знаний, опыта и способностей лица, принимающего решение (ЛПР), или группы, принимающей решения. Опыт и интуиция не всегда могут быть одинаково эффективными при принятии решений. Аналитические методы, особенно созданные на основе этих методов программные средства – компьютерные системы принятия решений, могут эффективно помогать лицам, принимающим решения, в трудных и комплексных ситуациях, требующих принятия решений.

1. СППР, изучаемые в практических занятиях

Ниже мы кратко обсудим возможности некоторых программных инструментов, поддерживающих принятие решений.

Программа «QM for Windows». В этой программе есть отдельные модули, направленные на решение многих типов практических задач, каждый из которых служит для достижения оптимального решения на основе количественных методов. Например, программный модуль этой системы, называемый «Project Management», эффективно используется при планировании крупных проектов. В нём уделяется внимание оптимальному распределению временных, трудовых и финансовых ресурсов. Этот модуль является инструментом для оптимального управления проектами.

Также модуль «Linear Programming» программы «QM for Windows» создан на основе метода линейного программирования, помогает прийти к правильному и наиболее эффективному конкретному решению при задачах линейного программирования, в частности, оптимальной организации производства, обеспечения заданного охвата, распределения финансовых ресурсов, продовольственного рациона, при приготовлении различных фармацевтических либо химических смесей и растворов.

Кроме того, многие модули программы «QM for Windows», такие как «Assignment» («Назначение»), «Decision Analysis» («Анализ решений»), «Forecasting» («Прогнозирование»), «Game Theory» («Теория игр»), «Transportation» («Транспорт»), позволяют прийти к определенному концу при принятии решений по вопросам различного типа.

Программа «MPriority». Метод анализа иерархий и созданная на его основе программа «MPriority» могут быть эффективно использованы при принятии решений посредством указания наиболее эффективного варианта из альтернативных решений, согласно определению приоритетов критериев в многокритериальных задачах.

Замечателен тот факт, что единственным автором метода анализа иерархий является американский учёный Томас Саати [2].

Программа «MPriority» предполагает, что ЛПР обладают способностью различать альтернативные решения и субъективные критерии их оценки, правильно устанавливать приоритеты критериев и сравнивать их аспекты, соответствующие критериям, из описаний альтернативных решений. Следовательно, значительность применения метода анализа иерархий к решениям многокритериальных проблем подчеркивается ещё и тем, что он учитывает не только количественные показатели, но и умственные и духовно-психологические особенности ЛПР.

Одним из преимуществ программы «MPriority» является то, что интерфейс программы прост и интуитивно понятен. После ввода основных данных в программу происходит аналитический процесс с участием пользователя программы. От пользователя не требуется специальной математической подготовки. «MPriority» позволяет пользователю или ЛПР выбрать наиболее эффективное решение среди альтернативных решений с учетом приоритетов критериев.

Программы «SPSS» и «MiniTab». Прогнозировать активность системы можно путем количественной оценки хода активности в выборке на основе многофакторного корреляционно-регрессионного анализа. Созданы эффективные автоматизированные программные средства корреляционно-регрессионного анализа, которые нынче являются системами поддержки принятия решений. К таковым относятся программы «SPSS» («Statistical Package for the Social Sciences» – «Статистический пакет для общественных наук») и «MiniTab». Эти системы способны определять корреляции процессов в социальной, экономической, политической и других сферах, показывать их количественное и графическое выражение, оценивать плотность зависимости, автоматически рассчитывать статистические величины, строить регрессионную модель, показывать значения интервалов прогнозирования, а также способны предсказывать будущее процессов определенного типа посредством анализа временных рядов.

Экспертные системы. Эти системы, которые считаются автоматизированными интеллектуальными информационными системами, основанными на базе знаний в конкретной сфере, относятся к числу наиболее современных программных средств, поддерживающих принятие решений. Их математическое обеспечение состоит в основном из булевой алгебры и правил и процедур формальной логики. Однако в последнее время, в связи с бурным развитием нейросетевых технологий, основой современных интеллектуальных систем становятся гибридные интеллектуальные средства, такие как нейронные сети с глубоким обучением и снабженные с нечёткой логикой.

Возможности первоначальных экспертных систем проявляются в принятии решений дифференцированными в разных сферах представителями профессиональной сети по вопросам, относящимся к схожей сфере, или в получении информации, относящейся к той же схожей сфере, по которой сформулирована база знаний экспертной системы. Если классические экспертные системы отличаются способностью рекомендовать конкретное решение на основе базы знаний по сложным вопросам, то в работе [3] «была выявлена устойчивая тенденция к построению СППР на основе интегрированных нейро-сетевых подходов, что является практически возможным и экономически целесообразным, поскольку позволяет получать распределенные и обучаемые СППР, устойчивые во времени и умеющие адаптироваться к изменчивому корпоративному ИТ-ландшафту». Действительно, к сегодняшнему дню экспертные системы становятся принципиально обучаемыми, способными накапливать знания в процессе функционирования, анализируя и обобщая результаты действий экспертов. «Фактически экспертные системы постепенно приобретают когнитивные способности, связанные с познанием, прогнозированием и человекоподобными способами принятия решений» [4].

Заключение

Организация практических занятий по теме СППР в масштабе учебной дисциплины «Информационные технологии в управлении» предусматривает создание учебно-методического комплекса по данной теме, что было осуществлено нами с использованием вышеизложенных программных продуктов «QM for Windows», «MPriority» и «MiniTab». Вовлеченность студентов и их заинтересованность к выполнению практических заданий в этих программах имеют обнадёживающий показатель, что показывает корректность и эффективность введения данной учебной темы в состав соответствующей обязательной учебной дисциплины ещё в начальных курсах бакалавриата. Данная учебная тема, быть может, имеет больше ознакомительный характер для студентов, однако она служит фокусированию их внимания на современных цифровых средствах анализа, принятии решений и в конечном итоге управлении. Более глубокое изучение и владение СППР можно будет продолжать в учебных дисциплинах, ориентированных на обучение навыкам статистического анализа, системного анализа, менеджмента и методам принятия решений. Исходя из этого, к обсуждению программы «SPSS» и экспертных систем, имея в виду, что они, возможно, требуют усвоения других интегрированных дисциплин и

дополнительную подготовку, будет достаточным отвести минимальный объем часов, реализуемые в виде семинарского занятия в составе учебной дисциплины «Информационные технологии в управлении».

В заключение стоит отметить, что студенты со временем могут стать управленцами, поэтому они должны знать то, что современному руководителю, независимо от того, в какой ветви управления он ведет деятельность, необходимо обладать в числе своих лидерских компетенций способностью системно мыслить, владеть современными аналитическими методами принятия решений и программными средствами поддержки принятия решений и таким образом обеспечивать точность и эффективность принятых решений.

Список литературы

1. Ажмухамедов, И. М. Рабочая программа дисциплины СППР [Электронный ресурс] : учебная программа. – Астрахань : АГУ им. В. Н. Татищева, 2022. – 24 с. Режим доступа : https://asu-edu.ru/images/File/Sistemi-podderzhki-prinyatiya-resheniy.pdf

2. Saaty, Thomas L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process (англ.) // RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics): journal. – 2008. – June (vol. 102, no. 2). – P. 251–318.

3. Демидовский, А. В. Интегрированные нейросимволические системы поддержки принятия решений: проблемы и перспективы / А. В. Демидовский, А. В. Бабкин // Бизнес-информатика. – 2021. – Т. 15. – № 3. – С. 7-23. – DOI: 10.17323/2587-814X.2021.3.7.23

4. Анализ особенностей построения экспертных систем / А. В. Речинский [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2023. – Вып. 4. – С. 199-205. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-4-199-205

О некоторых модельных задачах теплопроводности для стержней в конечно-элементном пакете FlexPDE для курса «Математические модели естественных наук»

О. Г. Пустовалова, email: ogpustovalova@sfedu.ru

Южный федеральный университет,
Институт математики, механики и компьютерных наук
им. И. И. Воровича

Аннотация. *В данной работе рассматриваются решения модельных задач теплопроводности для стержней в пакете FlexPDE. Приведены скрипты для одномерных задач односоставного и двусоставного стрежня в рамках стационарного процесса теплопроводности. Описаны примеры с коэффициентом теплопроводности, зависящим от координаты; и коэффициентом теплопроводности, зависящим от температуры.*

Ключевые слова: *FlexPDE, конечно-элементное моделирование, задачи теплопроводности.*

Введение

Курс «Математические модели естественных наук» охватывает широкий спектр тем, связанных с применением математических методов и моделей для анализа явлений в природе. К наименее сложным задачам из разделов курса, можно отнести стационарные процессы теплопроводности в одномерной постановке. К преимуществам данных задач можно отнести наличие аналитических решений, что позволяет проверять корректность моделей, выполнять верификацию выбранных численных методов, лучше понимать физическое и математическое поведения исследуемой системы, выявлять ключевые зависимости, оценивать ошибки, возникающие в ходе численного анализа. Для процесса обучения совпадение аналитического и численного решений служит отличным инструментом, поскольку позволяет студентам видеть связь между теоретическими аспектами и практическими вычислениями.

В настоящей работе будут рассмотрены задачи, связанные с переносом тепла за счет теплопроводности. Их численные решения в общем случае будут получены с помощью метода конечных элементов (МКЭ), который реализован в пакете FlexPDE [1–4].

© Пустовалова О. Г., 2025

1. Одномерная задача теплопроводности для стержня

Рассмотрим задачу теплопроводности для тонкого изотропного однородного стержня [5, 6], на всей боковой поверхности которого находится теплоизоляция (рис. 1).

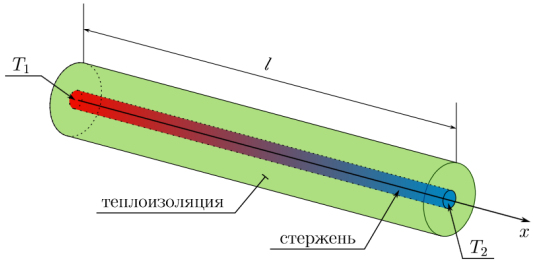


Рис. 1. Стержень с теплоизоляцией на боковой поверхности и с заданными значениями температуры на торцах.

Длина стержня l, площадь поперечного сечения S. Выберем ось x вдоль оси стержня. На левом торце ($x = 0$) задана температура T_1, на правом ($x = l$) – T_2. Для определенности будем считать, что $T_1 > T_2$. Источника тепла нет. Если не рассматривать изменение температуры по поперечному сечению (т.е. температура $T = T(x)$), то в рамках одномерной модели постановку этой задачи можно записать в виде:

$$\frac{d}{dx}\left(k(x)\frac{dT}{dx}\right) = 0, \quad T(0) = T_1, \; T(l) = T_2,$$

где $k(x)$ – коэффициент теплопроводности материала стержня, и для большинства рассматриваемых задач является постоянной величиной, в том числе для данной задачи $k = const$. В этом случае, решение рассматриваемой задачи для стержня изменяется по линейному убывающему закону:

$$T(x) = \frac{T_2 - T_1}{l}x + T_1.$$

По определению градиент температуры равен:

$$\mathbf{q} = -k\,\mathrm{grad}\,T = k\frac{T_1 - T_2}{l}\mathbf{e}_1,$$

$\mathbf{e}_1$ – единичный вектор, направленный вдоль оси x. Из полученного представления видно, что вектор потока тепла постоянен (не зависит от

координаты) и сонаправлен с осью x, т.е. от части стержня с большей температурой к области стержня с меньшей температурой.

2. Задача о теплопередаче для двусоставного стержня

Рассмотрим одномерную задачу теплопроводности (рис. 1) для стержня, состоящего из двух частей с различными коэффициентами теплопроводности. Источники тепла внутри стержня отсутствуют. Боковая поверхность стержня теплоизолирована. На концах заданы значения температуры.



Рис. 2. Двусоставной стержень с заданными значениями температуры на торцах.

Формула для закона изменения вектора потока тепла имеет вид :

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R^T}$$

где $R^T = R_1^T + R_2^T$, $R_i^T = l_i / k_i$ – термическое сопротивление i-части стержня, l_i – длина i-части, k_i – коэффициент теплопроводности i-части.

Скрипт [7], представленный в листинге 1, позволяет получить численное решение одномерной задачи для двусоставного стержня. Следует отметить, что в пакете FlexPDE по умолчанию реализованы условия границе контакта двух тел – в каждый момент времени заданы условия непрерывности теплового потока и температуры (идеальный тепловой контакт). Поэтому условия такого рода внутри объекта, состоящего из нескольких частей, описывать не нужно, непрерывность функции температуры учитывается средой FlexPDE в автоматическом режиме. Решение подобной задачи для функции изменения вектора потока тепла, как известно, существует в аналитической форме [5, 6]. При этом термическое сопротивление составного стержня, состоящего из последовательно расположенных частей, находящихся в идеальном контакте, определяется как сумма термических сопротивлений этих частей.

Листинг

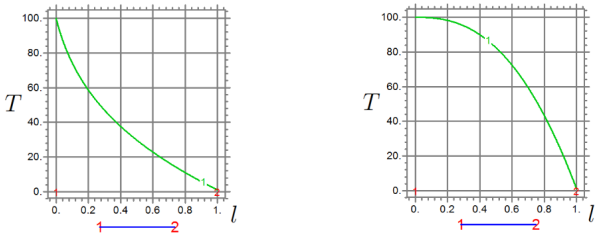
1D задача теплопроводности для двусоставного стержня

```
title ' Stationary heat conductivity. 1D. Two parts '
coordinates cartesian1
variables Tp {температура}
definitions
T_1=100 { значение температуры слева }
T_2=1 { значение температуры справа }
L1= 0.2 { длина первого участка стержня }
L2= 0.4 { длина второго участка стержня }
L=L1+L2 { длина всего стержня }
{ коэффициент теплопроводности на разных участках стержня}
k1=0.1
k2=0.5
k =if x<L1 then k1 else k2
equations { уравнение теплопроводности в одномерном случае}
{ источники тепла отсуствуют }
dx(k*dx(Tp)) = 0
boundaries
region 1
start (0)
point value(Tp) = T_1 { значение температуры слева }
line to (L)
point value(Tp) = T_2 { значение температуры справа }
plots
{ график изменения температуры от начала стержня до конца}
elevation (Tp) from (0) to (L) penwidth =6
{ окно численных результатов
для температуры в указанных точках }
summary
report val (Tp, 0) as "Temperature in 0 "
report val (Tp, L1) as "Temperature in L1 "
report val (Tp, L) as "Temperature in L "
end
```

3. Задача о теплопередаче стержня с коэффициентом теплопроводности, зависящим от координаты

Для описания поведения некоторых функционально-градиентных материалов коэффициент теплопроводности k полагается переменным по пространственным координатам. Такие материалы обладают неоднородной структурой, которая может достигаться благодаря сложным технологическим процессам.

Для решения во FlexPDE задачи о теплопередаче стержня с коэффициентом теплопроводности, зависящим от координаты, достаточно обратиться к листингу 1 с тем изменением, что коэффициент теплопроводности k зависит от x, следует добавить строку $k = f(x)$ в раздел definitions, где $f(x)$ – закон изменения (например $k = 0.5 \cdot x^{-1.5}$).



а б

$a - k = 0.5\ln(x+1.1)$, *б* – $k = 0.5x^{-1.5}$

Рис. 3. Графики температуры при различных законах изменения коэффициента теплопроводности.

На рис. 3 представлены графики изменения температуры по длине стержня для двух законов изменения коэффициента k.

4. Задача о теплопередаче стержня с коэффициентом теплопроводности, зависящим от температуры

Существует достаточно большое количество материалов, физические свойства которых, в том числе и теплопроводности, зависит от температуры окружающей среды. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры обычно описывается эмпирическими формулами, например, такой:

$$k(T) = k_0 + aT + bT^2,$$

где $k(T)$ – коэффициент теплопроводности при температуре T, k_0 – коэффициент теплопроводности при нулевой температуре, a и b – эмпирические коэффициенты, определяемые экспериментально.

Рассмотрим более простой случай, когда коэффициент теплопроводности меняется скачкообразно при переходе значения температуры определенного значения. Для решения данной задачи во FlexPDE задачи, нужно учесть изменение коэффициента теплопроводности в разделе definitions:

```
definitions
k= if Tp>0 then 0.5 else 0.1 ! коэффициент теплопроводности
```

Заключение

Использование конечно-элементного пакета FlexPDE для решения модельных задач, полезно для учебных целей, так как совпадение аналитического и численного решений является важным показателем надежности математического моделирования, что позволяет студентам

делать обоснованные выводы и принимать решения на основе полученных результатов. Опробованные методы (в том числе методы проверки) можно применять для решения более сложных задач, для которых получение аналитических решений затруднительно.

Список литературы

1. FlexPDE Help. [Электронный ресурс] : – Режим доступа : https://pdesolutions.com/help/index.html

2. FlexPDE 8 User Manual [Электронный ресурс] : – Режим доступа : https://www.pdesolutions.com/download/flexpde800.pdf

3. Backstrom G. Fields of Physics by Finite Element Analysis. Electricity, Magnetism, and Heat in 1D, 2D, and 3D / G. Backstrom. – Sweden : GB Publishing, 2005. – 279 p.

4. Backstrom G. Simple Deformation and Vibration by Finite Element Analysis / G. Backstrom. – Sweden : GB Publishing, 2006. – 240 p.

5. Исаченко, В. П. Теплопередача. Учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1975. – 488 с.

6. Болгарский, А. В. Термодинамика и теплопередача / А. В. Болгарский, Г. А. Мухачев, В. К. Щукин. – М. : Высш. шк., 1975. – 495 с.

7. Пустовалова, О. Г. Решение задач теплопроводности в конечно-элементном пакете FlexPDE [Электронный ресурс] : учебное пособие / О. Г. Пустовалова, В. В. Дударев. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).

8. Казанцев, Е. И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. – М. : Металлургия, 1975. – 370 с.

Секция 6
Электронное обучение и дистанционные образовательные технологии

Использование средств визуализации при обучении в контексте цифровизации высшего образования

О. В. Иванова, email: oviva75@mail.ru

Финансовый университет при Правительстве РФ

Аннотация. *Показаны различные средства компьютерной и модульной визуализации, используемые на семинарских и на лекционных занятиях по математической статистике в тесной связи с работой на кампусе: различные виды диаграмм, видеоматериалы, схемы, интеллект-карты, таблицы. Продемонстрирована методика использования средств визуализации в процессе обучения математической статистике. Приведены примеры.*

Ключевые слова: *цифровизация высшего образования, компьютерная визуализация, модульная визуализация, ящик с усами, образовательный кампус, табличный процессор, математическая статистика.*

Введение

В настоящее время, в век искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности начинает трансформироваться и образование. Цифровизация образования становится одним из значимых приоритетов государственной политики Российской Федерации [1, 2], университеты по указу Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», следуя разработанной стратегии цифровой трансформации отрасли науки и высшего образования [3], действуют в различных направлениях достижения «цифровой зрелости»: 1) цифровизация процесса управления качеством промежуточной аттестации обучающихся, 2) внедрение цифровой образовательной среды в процесс обучения как с различных сторон по-отдельности, так и в их в интеграции; 3) корректирование методов и средств обучения, изменение в содержании образования, в частности, использование компьютерной и модульной визуализации при обучении конкретным дисциплинам.

Анализ научных статей ученых других стран [4, 5] показывает то, что традиционные методы преподавания больше не подходят современным студентам, необходимо непросто обогащать учебный контекст информационными технологиями и применять мультимедийные

© Иванова О. В., 2025

средства в обучении, а задуматься над серьезными преобразованиями в содержании обучения. Чтобы преподаватели, учителя обладая «педагогической мудростью», поддерживали «обучение через понимание» средствами информационных технологий, а не «обучение ради обучения» [6]. Цифровизация высшего образования акцентировала большее внимание педагогов, научных исследователей на вопросы визуализации информации, на формирование визуальной компетентности. Использование средств визуализации способствует устранению формализма в получаемых ими знаниях, в частности при обучении математическим дисциплинам, является одним из положительных преобразований образовательного процесса в контексте цифровизации высшего образования из-за увеличивающегося количества информации, принимающей зрительную форму, способствующей преобразованию в содержании образовании.

Понятие визуализации (от лат. visual – зрительный) имеет множество значений в зависимости от сферы и контекста его применения [7]. Понятие «средства визуализации в обучении» исторически тянется из понятия «средства наглядности» в преподавании математики еще прошлого столетия. «Обучение математике не должно отрываться от конкретных фактов и образов, а наоборот, по возможности начинать изучение любого вопроса с рассмотрения их» [8, с.45]. Использование визуальных средств обучения для улучшения понимания и усвоения учебной информации, это интеграция развития визуального канала восприятия информации и когнитивной функции наглядности [9]. Использование средств визуализации как одного из составляющих цифровизации высшего образования – это в первую очередь, различный инструментарий информационных технологий при обучении: компьютерный класс для семинарских занятий, мультимедийная аудитория для лекционных занятий, платформа для электронного и дистанционного обучения, компьютерные программы и открытые среды (на занятиях по математической статистики решение задач проходит в компьютерных кабинетах средствами MS Excel, открытой среды R), мобильные технологии (использовали только на лекционных занятиях), облачные технологии (VK WorkDisk – корпоративное облачное хранилище, в основном необходимо для загрузки видео решения задач из-за ограничения на загрузку файлов до 10 Мбайт образовательного кампуса), корпоративная почта, а во вторую очередь, это те средства, созданные и (или) используемые преподавателем с помощью различного инструментария информационных технологий, улучающие восприятие и понимание учебной информации: компьютерная и модульная визуализация.

1. Средства компьютерной визуализации при обучении математической статистики

Компьютерная визуализация – процесс представления учебной информации в наглядном и интерактивном форматах с непосредственным использованием компьютерных программ. При обучении математической статистике мы используем видеоматериалы, диаграммы и графики, условное форматирование, сводные таблицы. Рассмотрим более подробно представленные средства компьютерной визуализации на конкретных примерах.

Видеоматериалы в обучении математической статистике – это видеозаписи: разбора решения типовых домашних задач, пояснения теоретической информации, обоснований творческих проектов, консультаций перед контрольными и самостоятельными работами. Видеоматериалы создавались средствами двух платформ: Zoom Workplace (платформа для совместной работы на базе искусственного интеллекта), «VK Звонки» (сервис для проведения видеоконференций, вебинаров и звонков). Все необходимые средства для записи видео в «VK Звонки» являются частичной копией средств ZOOM. Видеоматериалы пользовались у студентов большой популярностью: 1) видео помогало лучше понять сложный учебный материал, который был не усвоен во время занятий в аудитории; 2) видео студенты могли просматривать в любое время, в любом месте, неограниченное число раз; 3) видеозаписи включали в себя вопросы студентов и другие средства визуализации: схемы, таблицы, интеллект-карты, диаграммы и др.

При изучении первого раздела математической статистики – описательной статистики студенты знакомятся с такими эмпирическими методами для визуализации и интерпретации данных как диаграммы и графики: гистограммы, диаграммы с накоплением, диаграммы рассеяния, диаграммы размаха, дерево, солнечные лучи, графики, а в дальнейшем и сами проводят визуальный анализ полученных больших данных.

Гистограммы студентам демонстрируются с первых занятий описательной статистики при знакомстве с понятием нормального закона распределения: «…многие случайные признаки, с которыми мы встречаемся, распределены по нормальному закону. Чтобы узнать, имеет ли некоторый признак нормальный закон распределения, как правило, начинают с построения так называемых гистограмм» [10, с. 19]. Гистограмма нормального распределения имеет форму колокола. Гистограмму можно построить как инструментами анализа данных табличного процессора автоматически или указав интервалы

группирования признаков (интервал карманов), а также и воспользоваться вставкой статистической диаграммы (можно указать длину интервала через формат оси).

Диаграммы рассеяния (точечная диаграмма в табличном процессоре) – «диаграмма, изображающая зависимости между двумя признаками в виде точек с координатами (x,y), координата x – значение одного из признаков в данной строке, а координата y – значение второго признака» [10].

Диаграмма размаха (ящик с усами, усиковая диаграмма, box plot) – это диаграмма для визуализации распределения данных по квартилям с указанием среднего значения, медианы. Автор создания ящика с усами Джон Уайлдер Тьюки, по словам авторов статьи [11], считал, что «величайшей ценностью графика является возможность увидеть то, чего мы не ожидали увидеть». На рис. 1 представлены две диаграммы размаха цен акций Сберегательного банка РФ (Сбербанк) и цен акций газовой промышленности (ГАЗПРОМ) по данным о котировках акций на Московской бирже за пять лет с 2018 по 2023 гг. с сайта информационного агентства «МФДИнфоЦентр» [12]. На диаграмме размаха цены акций Сбербанка почти симметричны, в отличие от диаграммы размаха ГАЗПРОМА, у которой есть выброс, среднее значение смещено в сторону верхней квартили, верхний «ус» значительно длиннее нижнего, то есть распределение цен скошено. На рис. 2 представлен пример модульной визуализации – схема диаграммы размаха, на которой показаны все ее составляющие.

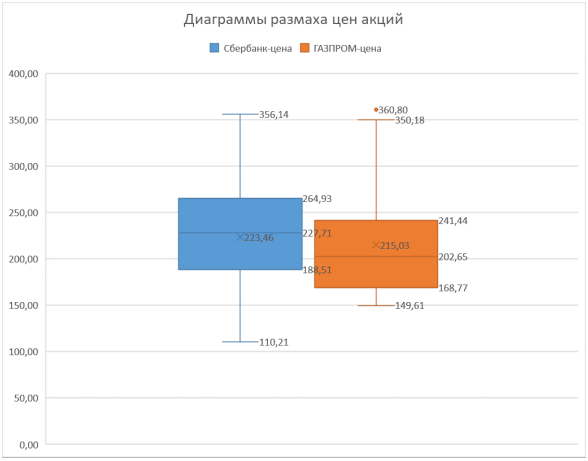


Рис. 1. Диаграммы размаха цен акций

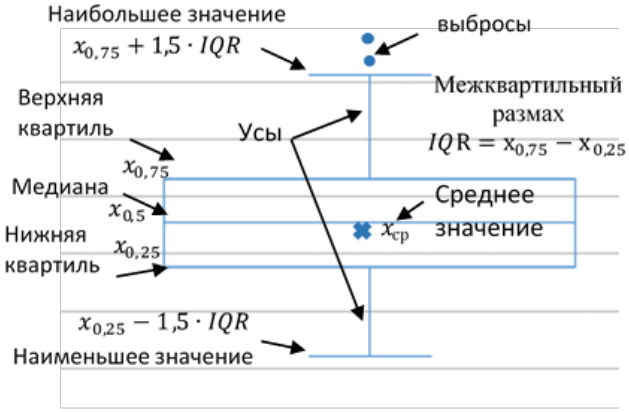


Рис. 2. Схема диаграммы размаха

График – способ визуализации данных, изображающих зависимости между признаками в виде линий на плоскости, чаще всего строят графики зависимости признаков от времени.

Сводные таблицы – это инструмент обработки данных, упрощающий их обобщение и визуализацию. Построение сводных таблиц облегчает решения многих статистических задач. Все задачи по математической статистике сгенерированы для решения студентами средствами MS Excel и RSTUDIO [10, 13, 14].

Солнечные лучи, дерево, диаграмма с накоплением – это диаграммы для визуализации данных, в которых имеется определённая иерархия признаков: множество объектов состоит из категорий и подкатегорий.

2. Средства модульной визуализации при обучении математической статистики

Модульная визуализация – процесс представления учебной информации, в виде «свертывания мыслительных содержаний в крупномодульную образно-графическую наглядность» [14, с.72] в виде логических схем, блок-схем, схем понятий, прямоугольных таблично-матричных логико-смысловых моделей – таблиц, интеллект-карт. Средства модульной визуализации, используемые при обучении математической статистике, обладают следующими свойствами: модульность: учебная информация разделяется на крупные блоки – модули, отражающие ключевые элементы для ее упрощения; иерархичность: учебная информация располагается упорядоченно от крупных модулей к более мелким, являющиеся составляющими

звеньями крупных; простота: учебная информация представлена кратко, компактно, ясно; систематичность: учебная информация представляется с выделенными наглядными связями между основными ключевыми звеньями.

Схема понятий – средство визуализации определения конкретного понятия с отражением всех его основных звеньев. На рисунке 2 отражена схема понятия – диаграмма размаха.

Блок-схема – средство визуализации последовательности действий в виде блоков (начало, блок ввода, блок действия, логический блок, конец) и стрелок (отражающие прямую связь между блоками). Большую популярность у студентов имела блок-схема проверки гипотезы о незначимости коэффициента корреляции.

Логические схемы – средство визуализации учебной информации в виде небольшого количества звеньев (от 3 до 5). Первое звено – основание теории, в частности, визуальное определение понятия, второе звено – ядро теории, способы решения задач с новым понятием, третье звено – приложение теории, отображение решения задач.

Прямоугольные таблично-матричные логико-смысловые модели – это средство визуализации структурирования учебной информации, демонстрации связей между различными элементами. Основными компонентами таких средств являются строки и столбцы, особенно актуальны такие средства для обобщения информации, когда необходимо продемонстрировать несколько различных положений (законов, распределений) с соответствующими характеристиками (числовые характеристики, теоретические моменты, формулы, функции).

Интеллект-карта – средство визуализации рассуждений, мыслей по определенной теме, отражающее ключевые понятия, идеи, задачи (обычно пронумерованных), связи между ними (стрелками). В основном интеллект-карта по математической статистике – это стратегия решения задач по отдельно взятой теме.

3. Методика применения средств визуализации при обучении студентов математической статистике в контексте цифровизации высшего образования

Одним из основных звеньев цифровизации высшего образования является образовательный кампус. Кампус – это объект университетской инфраструктуры, предоставляющем организационно-методические, информационные, материально-технические возможности. Образовательный кампус Финансового университета при Правительстве РФ представлен как виртуальная обучающая среда, наполненная самими преподавателями учебно-методическими комплексами (лекции,

семинары, тесты с большим банком сгенерированных задач почти неповторяющихся, задания и др.) и информационными ресурсами по учебным дисциплинам. «В качестве такой среды наиболее известной и распространённой в РФ является MOODLE «Modular Object – Oriented Dynamic Learning Environment» [15, с.89]. В образовательном кампусе университета созданы два курса по одной дисциплине средствами MOODLE: общий (для студентов, обучающихся на всех факультетах, создает коллектив преподавателей) и индивидуальный (создает один преподаватель для обучения своих групп). Индивидуальный курс создается одним преподавателем для обучения своих групп, по каждой теме выкладываются: презентация лекционного занятия; ссылка на видео лекцию; презентация семинарского занятия; ссылка на видео разбор задач; учебный элемент «Задание» с ограничением доступа по группе. Цель элемента «Задание» – сохранение студентами своих электронных контентов в виде электронных тетрадей в MS Excel, созданных на семинарских занятиях. Студенты на семинарских занятиях по математической статистики занимаются за компьютерами и не пишут в тетрадях. Если нужны записи, то выполняют их средствами рукописного ввода в MS Excel.

Все средства визуализации, описанные выше, используются на семинарских и на лекционных занятиях в тесной связи с работой на кампусе. Лекционные занятия с использование средств модульной визуализации выстраиваются от целого к частному. Заканчивается лекция с повторения структурных составляющих схем или таблиц, задается домашнее задание с кампуса. Презентации лекционного материала обычно уже загружены до проведения лекционного занятия. Семинарские занятия проходят с использованием всех вышеописанных средств визуализации. Если на семинарских занятиях используются блок-схема, логическая схема или схема понятий, то средства модульной визуализации можно назвать тренировочным каркасом для студентов, так как в них используется математическая терминология, краткая и символическая запись с использованием кванторов и логических знаков операций. В начале каждого семинарского занятия по новой теме (обычно уже рассмотренная на лекции) начинается с решения задач с использованием средств модульной визуализации или преподавателем или студентами по их желанию. В конце семинарских занятий проходят за компьютером самостоятельные работы за конкретное отведенное время (от 10 до 30 минут, в зависимости от предлагаемых задач), они представлены в кампусе по предыдущей изученной теме. Файлы с решёнными задачами прикрепляют на кампус как ответ на самостоятельную работу. Если файл не успели прикрепить за указанное

время, то за работу ставится ноль баллов. На самостоятельных работах запрещено пользоваться средствами модульной визуализации, интернетом и телефоном. Средства компьютерной визуализации такие как видеоматериалы используются студентами исключительно в качестве домашней самостоятельной работы (ДСР). При выполнении ДСР, которая тоже предлагается на кампусе, студенты детально изучают видео записи, в поскольку в них используются все остальные средства визуализации. Другие средства компьютерной визуализации используются при решении таких задач математической статистики, в которых явно сказано их использовать.

Заключение

Использование средств визуализации при обучении с учетом возможностей образовательного кампуса позволяет сделать вывод об эффективности их использования в образовательном процессе по проведенному опросу, результатам промежуточной аттестации: студенты отмечают повышенный интерес к дисциплине, облегчение процесса усвоения учебной информации; видео записи способствовали лучшему пониманию решений многих задач; успешная сдача экзамена свидетельствует о прочности знаний; средства визуализации способствуют формированию элементов эстетической культуры; происходило целенаправленное внимание обучающихся; осуществлялась реализация прикладной направленности; формирование у студентов уверенности при использовании цифровых технологий, их учебной и профильно-ориентированной самостоятельности.

Список литературы

1. Розин, В. М. Цифровизация в образовании (по следам исследования «Трудности и перспективы цифровой трансформации образования») / В. М. Розин // Мир психологии. – 2021. – №1-2(105). С.104-115.

2. Уваров, А. Ю. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / А. Ю. Уваров [и др.]. – Москва: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»; 2019. – 344 с. – DOI: 10.17323/978-5-7598-1990-5.

3. Стратегия цифровой трансформации отрасли науки высшего образования [Электронный ресурс]. Москва – 2021. Режим доступа: dv6edzmr0og5dm57dtm0wyllr6uwtujw.pdf

4. Delita, F. Online learning: the effects of using e-modules on self-efficacy, motivation and learning outcomes / F. Delita, N. Berutu, N. Nofrion // Turkish Online Journal of Distance Education. – 2022. – № 4(23). – P. 93-107. – DOI:10.17718/tojde.1182760

5. Meng, Y. Effects of Multimedia Video Integrated STEM Curricula on Learning Attitude and Learning Achievement / Y. Meng, L.-S. Chen // International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). – 2023. – № 19(18). – P.267-276. DOI: 10.3991/ijet.v18i19.43911.

6. Čotar Konrad, S. Teacher Educators' Attitudes Towards Using Digital Technologies for Learning and Teaching: The Case of Slovenia / S. Čotar Konrad, T. Štemberger // International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). – 2023. – №17(18). – P. 45-55. – DOI: 10.3991/ijet.v18i17.41095.

7. Иванова, О. В. Скрайбинг как средство модульной визуализации при обучении математическим дисциплинам в средней и высшей школе / О.В. Иванова // Школьные технологии. – 2018. – №4. – С. 72-79.

8. Гастева, С. А. Методика преподавания математики: учебник / С. А. Гастева, Б. И. Крельштейн, С. Е. Ляпин, М. М. Шидловская. – Ленинград: Государственное учебно-педагогическое издательство, 1955. 484 с.

9. Иванова, О. В. Визуальное повторение учебной информации в средней и высшей школе / О.В. Иванова // Информатика и образование. – 2019. – № 5(304). – С.41-50. – DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-5-41-50.

10. Соловьев, В. И. Анализ данных в экономике. Теория вероятностей, прикладная статистика, обработка и визуализация данных в Microsoft Excel: учебник / В.И. Соловьев. – М.: КНОРУС; 2019. – 497 с.

11. Егошин, В. Л. Визуализация исследовательских данных с использованием программной среды R / В. Л. Егошин [и др.] // Экология человека. – 2018. – №8. – С. 52-64.

12. Экспорт в MetaStock. Информационное агентство «МФДИнфоЦентр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mfd.ru/export/

13. Браилов, А. В. Теория вероятностей и математическая статистика / А. В. Браилов, В. И. Глебов, С. Я. Криволапов, П. Е. Рябов. – Ижевск: ИИКИ; 2016. – 414 с.

14. Гурьянова, И.Э. Сборник заданий «Математическая статистика с применением Excel» / И.Э. Гурьянова. – М.: Финансовый университет при Правительстве РФ; – 2020. – 118 с.

15. Иванова, О. В. Опыт использования технологии модульного обучения в вузе средствами MOODLE / О.В. Иванова // Образовательные технологии (г. Москва). –2018. – № 2. – С.87–99.

Социальные сети как дистанционные образовательные технологии

А. М. Измайлова, email: izmajlova.2012@mail.ru [1]
Е. В. Селиванова, email: mr.glgo@mail.ru [2]

[1] Воронежский государственный университет
[2] ГБПОУ ВО Воронежский государственный профессионально-педагогический колледж

Аннотация. *Рассматриваются достоинства и недостатки социальных сетей в образовательном процессе. Цель работы создать новое видения на проблему социальных сетей в образовании, как элемента дистанционного образования. В итоге дается краткий обзор об участии педагога в онлайн – технологии данного характера.*

Ключевые слова: *онлайн-технология, социальные сети, аккаунты, мониторинг.*

Введение

В начале разберемся с тем, что мы понимаем под социальной сетью – это сеть, которая позволяет работать с разного вида информацией и взаимодействовать с неограниченным числом пользователей. Социальная сеть позволяет реализовывать разные типы конструкторов и создавать новые виды общения в сети.

Сеть – это связь множества людей и современный вид дистанционных технологий, который позволяет работать в режиме онлайн и обеспечивать контроль за исполнением обучения. Данный сервис позволяет использовать «общение», как новый вид текстового блога. При этом список с такого рода видео, изображениями и стикерами, считается бесконечным и может не прерываться. Обучающиеся, листая список могут высказать свою позицию по поводу написанных комментариев, могут поставить свою оценку и показать негативную реакцию. Социальные сети – удобный помощник для родителей, чтобы контролировать успехи своего ребенка в учебе и быть на связи со школой [1]. В таком использовании электронная сеть становится незаменимым сервисом в области информационных технологий, уже на протяжении многих лет – эти платформы помогают отслеживать настроение и реакции обучающихся на разного рода информацию, а также работать с детьми с ограниченными способностями.

© Измайлова А. М., Селиванова Е. В., 2025

1. Социальные сети как дистанционные образовательные технологии

В мире современных информационных технологий социальные сети необходимы для различных видов контроля, позволяют создавать новые условия и выполнять учебные задачи такие как оповещение, мониторинг, активное сотрудничество в области информационной индустрии, создание благоприятных условий для развития климата в группе.

Использование социальных сетей в области образовательных технологий повышает мотивацию студентов, стимулирует развитие творческих навыков; познавательный интерес, положительно влияет на формирование знаний и умений. Таким образом социальные сети до 20% [2] повышают уровень развития знаний и умений в области информационных технологий, как доказывает статистика министерства образования. К тому же проблемы воспитания решаются быстрее, поскольку студенты живут активной жизнью и работают над своим профилем на личных страничках чаще, чем рассказывают о своих проблемах родителям. Достигнуть понимания в неформальной среде со своим учеником проще, чем на уроке, где нужно отвлекать себя и других от предмета.

Учителя отмечают, что работа с трудными детьми по их выявлению достаточно быстро активизируется, если каждый куратор будет вести мониторинг страниц своих студентов, проявлять интерес к жизни за гранью учебы, узнавать о вкусах и интересах обучающихся и создать на классных часах доверительную атмосферу, что позволит снизить уровень опасности и улучшить климат группы. Благодаря это можно увеличить интерес в области культуры и информационных новшеств и приведет в порядок негативные мысли группы, по таким страшным причинам как суицид, по проблемам деформации психики с тяжелым весом ответственности, свалившейся на студента в ходе обучения.

Возможности социальных сетей в образовательном аспекте огромны. Они определяются их назначением и функциями. Образовательные и научные социальные сети играют в современном образовательном пространстве особое значение.

Как правило, они создаются при каждом образовательном учреждении и представляют собой образовательный контент, который систематически пополняется образовательными и научными ресурсами. Например: школьная социальная сеть – http://dnevnik.ru, научная библиотека – https://znanium.ru, СФЕРУМ – https://sferum.ru и тд. Предпоследняя создана для облегчения доступа обучающихся к научной, научно-популярной и образовательной информации; а

последняя социальная сеть представляет собой единую базу разделов и сервисов: аннотации книг, анонсы конференций, календарь событий, книги, учебные комплексы, курсы лекций, научные статьи, новости, популярные статьи, рефераты, словарные статьи, таблицы, тезисы, учетные карточки, фотографии и многое другое.

Наше исследование связанно с социальной сетью «Дневник.ru», где студенты регистрируются в течение учебного года на первом курсе. Ученикам предлагаются мероприятия, которые реализуются в одном месте, работа производится куратором, а также самими студентами и всей группой в целом. Огромное количество студентов, желающих получить информацию, заходит в дневник довольно часто, чтобы проверить свою успеваемость и реализовать себя, а различных конкурсах, предлагаемых активом группы. Так строится рейтинг группы, который также можно посмотреть в «Дневник.ru», а активности студентов и их успеваемости [3]. Вначале студенты не активно заходили в «Дневник.ru», поскольку не считали, что «Дневник.ru» каким-то образом поможет в обучении, а тем более получить диплом. Однако, когда преподаватели начали ориентироваться на активность студентов в участии во всероссийских конкурсах, там выкладывалось своевременно расписание и оценки, домашнее задание, интерес студентов вырос и у них началась новая стадия принятия этой социальной сети. Добавились новые сервисы – задай вопрос педагогу, родители также могли видеть на сколько рейтинг его ребенка растет, началось участие в жизни группы не только самих студентов, но и родителей.

Заключение

Контент информационной сети колледжа создается авторами и модераторами образовательных ресурсов. Их наполнение курируют определенные структуры колледжа. Он представляет собой открытый портал, стимулирующий обмен знаниями между профессиональными участниками научного и образовательного процессов.

В социальных сетях можно: эффективно организовать коллективную работу распределенной учебной группы; осуществлять обмены научно-образовательной информацией; реализовывать дистанционное, непрерывное образование различных категорий обучающихся; координировать деятельность участников сети; интегрировать работу людей, находящихся в разных территориальных точках.

Таким, образом, социальные сети рассматриваются сегодня, как образовательный ресурс нового поколения, способный активизировать и интегрировать различные формы и методы обучения с целью

формирования ИКТ-компетентности в системе профессиональной подготовки будущего педагога.

Социальная сеть считается довольно перспективной информационной площадкой, однако слишком активное использование таких информационных баз предполагает «добровольное» участие в ней ее участников. От постоянной слежки или тотального контроля со стороны администрации и учителей могут развиваться неуверенность и процесс фрустрации у обучающихся [4]. Никто не гарантирует нам, что родители адекватно будут воспринимать информацию, которую смогут просматривать все пользователи, у некоторых это будет вызывать вопросы.

В рейтинг социальных сетей каждый раз входит все новое и новое количество современных и более усовершенствованных систем, на работе педагог сталкивается с активностью своего класса, родители видят оценки своего ребенка сидя дома, ученики выполняют задания и присылают его на проверку учителю и одноклассникам. Сеть вошла в нашу жизнь как помощник в образовании и как «организатор образования», если мы ей правильно и с толком будем пользоваться, то нам откроется множество возможностей в ней.

В итоге наших исследований получили то, что модель современного образования и сеть достаточно плотно взаимодействуют друг с другом, но без проблем нет и их решения. Следовательно, необходимо правильно реализовывать программу инноваций и без принуждения внедрять в процесс системы образования.

Список литературы

1. Темербекова, А. А. Ведущие тенденции, принципы и педагогические условия эффективного формирования информационной компетентности учителя / А. А. Темербекова // Мир науки, культуры, образования. – 2022. – № 3 (15). – С. 122-124.

2. Темербекова, А. А. Возможности интерактивных технологий в формировании информационной компетентности будущего учителя / А. А. Темербекова, И. В. Чугунова // Мир науки, культуры, образования. – 2021. – № 6 (25). – 96-98.

3. Умалатова, З. М. Организационно-педагогические основы управления повышением качества образования / З. М. Умалатова, У. М. Асадулаева // Мир науки, культуры, образования. – 2020. – № 3 (58). – С. 128-129.

4. Мухидинов, М. Г. Проблемы подготовки будущего учителя в условиях модернизации образования / М. Г. Мухидинов, Т. С. Гаджиев, Х. Д. Дзамыхов // Мир науки, культуры, образования. – 2021. – № 3 (58). – С. 69-70.

Методы и системы поддержки применения теоретико-графовых методов в информатике и программировании

В. Н. Касьянов, email: kvn@iis.nsk.su [1,2]
Е. В. Касьянова, email: kev@iis.nsk.su [1,2]

[1] Институт систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН
[2] Новосибирский государственный университет

Аннотация. *Теория графов из академической дисциплины все более превращается в средство, владение которым становится решающим для успешного применения компьютеров во многих прикладных областях. Доклад посвящен разрабатываемым в Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН методам и средствам поддержки применения теоретико-графовых методов в информатике и программировании.*

Ключевые слова: *графы, теоретико-графовые методы, теория графов, цифровой словарь, цифровая энциклопедия.*

Введение

Современное программирование невозможно представить себе без применения теоретико-графовых моделей и методов. Хорошо известно, что многие задачи повышения эффективности и надежности конструирования программ с использованием языков высокого уровня и трансляторов были сформулированы и решены как задачи на графах. Роль теоретико-графовых методов в программировании существенно возросла в последние годы в связи с появлением параллельных компьютеров и сетей, а также таких новых предметных областей, как Web-графы, социальные сети, семантический Web, базы знаний, сети белок-белковых взаимодействий, библиографические сети и многие другие. Теория графов из академической дисциплины все более превращается в средство, владение которым становится решающим для успешного применения компьютеров во многих прикладных областях.

Поэтому не случайно, что в лаборатории конструирования и оптимизации программ Института систем информатики СО РАН им. А. П. Ершова с момента ее создания в 1990 году ведутся работы по повышению эффективности и надежности конструирования программ и систем на основе теоретико-графовых моделей и методов [1, 2]. Одним из важных направлений этих работ является разработка методов и средств поддержки применения теоретико-графовых методов в

© Касьянов В. Н., Касьянова Е. В., 2025

программировании. В рамках этого направления издана серия книг и учебных пособий по теоретико-графовым методам в программировании [3-8], а также созданы цифровой вики словарь WikiGRAPP [9] по теории графов и ее применениям в информатике и программировании и цифровая вики энциклопедия WEGA [10] теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования.

В данном докладе описывается текущее состояние систем WikiGRAPP и WEGA и планы их дальнейшего развития.

1. Цифровой словарь WikiGRAPP по теории графов и ее применениям в информатике и программировании

В связи с активным развитием теоретико-графовых методов решения задач программирования и информатики, а также их постоянным расширением на новые предметные области проблема терминологии является одной из основных проблем в применении теоретико-графовых методов в программировании и информатике.

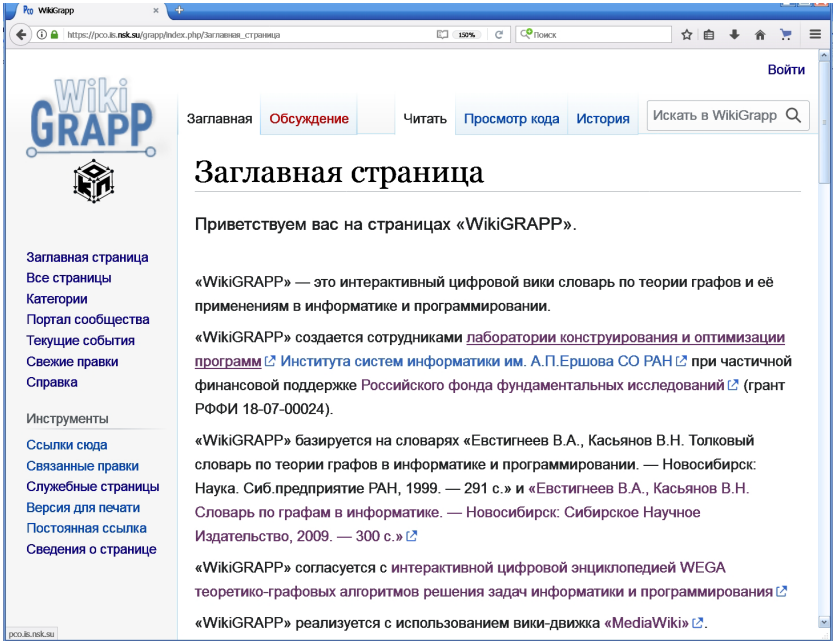


Рис. 1. Заглавная страница словаря WikiGrapp

Созданный в ИСИ СО РАН расширяемый цифровой вики словарь WikiGRAPP (см. рис. 1) по графам в информатике и программировании

призван если не решить, то значительно облегчить эту проблему. Для его создания мы использовали MediaWiki [11] – написанное на препроцессоре гипертекста (PHP) свободно распространяемое программное обеспечение, предназначенное для поддержки гипертекстовой среды «вики» (wiki) – такого веб-сайта, структуру и содержимое которого пользователи могут сообща изменять с помощью инструментов, предоставляемых самим сайтом.

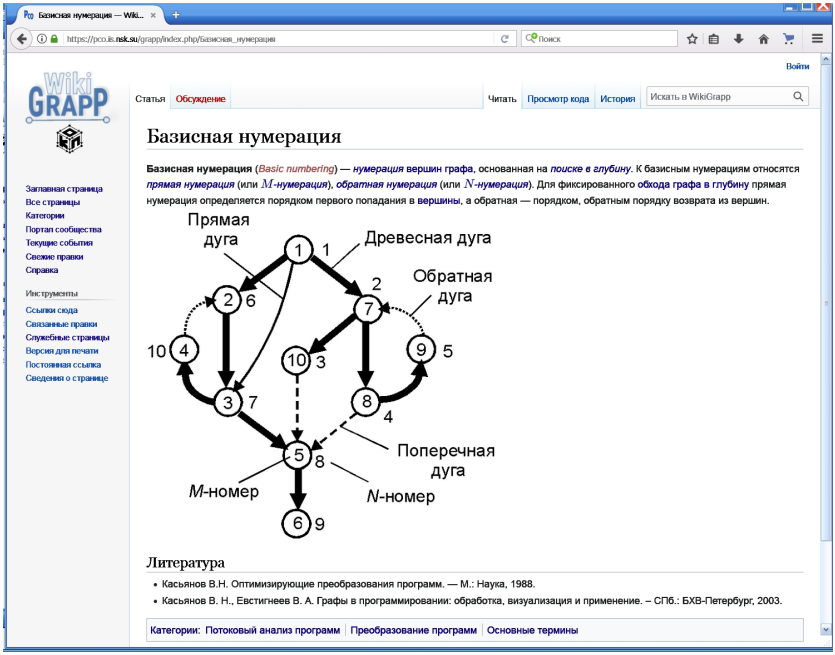


Рис. 2. Страница словаря WikiGrapp о базисных нумерациях

В основу вики словаря были положены две книги [4, 5].

Первая книга – это опубликованный в издательстве «Наука» в 1999 г. словарь [4], предварительная версия которого была издана в 1995-96 гг. тремя выпусками в Новосибирском государственном университете. Это был первый словарь по теории графов в информатике и программировании, и он вызвал большой интерес среди читателей. Вторая книга [5] – это опубликованная в Сибирском Научном Издательстве в 2009 г. исправленная и расширенная английская версия первого словаря, которая включила в себя более 1000 новых терминов из статей, рефераты которых публиковались в РЖ «Математика» в разделе

«Теория графов», а также из томов ежегодных конференций «Graph-Theoretic Concepts in Computer Science» и книг серии «Graph Theory Notes of New York».

В словаре 1999 года были собраны термины из таких известных монографий по теории графов, как книги Ф. Харари, К. Бержа, О. Оре, А. А. Зыкова и др., а также из доступных для отечественного читателя публикаций по информатике и программированию, с указанием источника и вариантов. Кроме собственно теоретико-графовых терминов, в книгу были включены необходимые для понимания термины из программирования, комбинаторного анализа, прикладной алгебры и исследования операций, что расширяет круг пользователей словаря.

Статьи словаря были снабжены иллюстрациями, перекрестными ссылками и ссылками на доступную литературу. Русские термины в словаре сопровождаются их английскими эквивалентами, что позволяет использовать книгу как русско-английский словарь, а прилагаемый краткий англо-русский словарь может помочь при чтении англоязычной литературы. Последнее, на взгляд авторов, позволит сократить размножение вариантов используемых в литературе терминов.

Приведенные свойства статей словаря не только сохранилось в созданном цифровом словаре WikiGrapp (см. рис. 2), но и усилились за счет гипертекстовых ссылок, категорий и статей на английском языке второго словаря.

При отборе терминов авторы словаря действовали следующим образом.

В качестве основного было выбрано множество понятий, представленных в известной монографии [12], как наиболее полного и доступного для отечественного читателя издания по теории графов. Затем оно пополнялось терминами из других отечественных и переводных книг по теории графов, а также из монографий по информатике и программированию, существенно использующих методы теории графов, таких как, например [3, 7, 13].

Чтобы как-то уменьшить разрыв между и еще не успевшей попасть в монографии, словарь был расширен за счет тех терминов, которые встречаются в докладах на ежегодной конференции «Graph Theory Concepts in Computer Science» и в статьях, опубликованных в ведущих по данной тематике журналах «Discrete Mathematics», «J. Graph Theory» и др. В последнем случае при включении того или иного термина в словарь делалась лишь в соответствующей статьи словаря общая ссылка на название журнала или конференции, но не добавлялась ссылка в список литературы в конце словаря на конкретный номер журнала или

труды конкретной конференции. В дальнейшем этот разрыв между терминологией монографий и терминологией, используемой в статьях, еще более сократился в английской версии словаря [5] за счет включения в него более 1000 новых терминов из статей.

Начальная версия вики системы WikiGRAPP прошла государственную регистрацию в 2013 г., и до настоящего времени ведется постоянная работа по совершенствованию словаря и его развитию.

2. Цифровая энциклопедия WEGA теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования

Также с использованием MediaWiki [11] в ИСИ СО РАН была создана еще другая вики система [5], ориентированная на поддержку графов в программировании, – расширяемая интерактивная цифровая энциклопедия WEGA теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования (см. рис. 3).

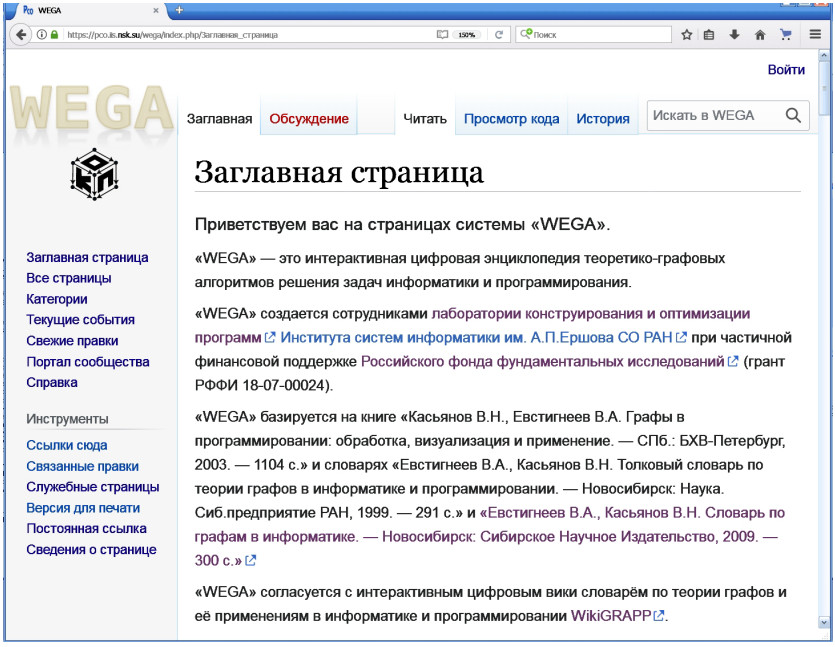


Рис. 3. Заглавная страница энциклопедии WEGA

В отличие от монографий Д. Кнута [14-16] цифровая энциклопедия WEGA, равно как и книга [4], на которой она базируется, ориентируется

на абстрактную модель современных компьютеров (равнодоступная адресная машина – РАМ) и высокоуровневое описание алгоритмов в терминах специального языка высокого уровня (ВУ-язык).

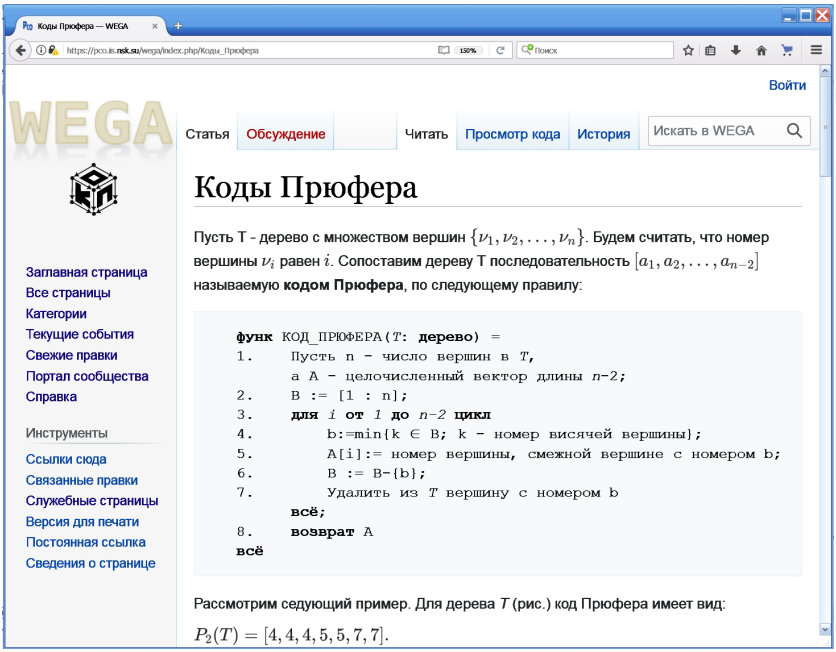


Рис. 4. Страница энциклопедии WEGA о кодах Прюфера

По-существу, ВУ-язык является псевдоязыком (лексиконом) программирования и содержит в качестве базовых традиционные конструкции языков программирования, для каждой из которых фиксируется класс её допустимых реализаций на РАМ. Предполагается также, что ВУ-язык наряду с базовыми конструкциями позволяет использовать любые необходимые конструкции, если очевидны или заранее зафиксированы оценки их сложности, а также те реализации этих конструкций на РАМ, которые допускают такие оценки. В частности, наряду с обычными для современных языков типами простых и составных данных ВУ-язык допускает использование таких более сложные структур данных, как, например, деревья и графы (см. рис. 4).

Такой подход позволяет формулировать алгоритмы в естественной форме, допускающей прямой анализ их корректности и сложности, а

также простой перенос алгоритмов на реальные языки программирования и компьютеры с сохранением полученных оценок сложности.

Начальная версия вики энциклопедии WikiGRAPP прошла государственную регистрацию в 2013 г., и до настоящего времени ведется постоянная работа по совершенствованию энциклопедии и её развитию.

Заключение

Рассмотренные в данном докладе словарь WikiGRAPP и энциклопедия WEGA прошли государственную регистрацию в 2013 году и до настоящего времени постоянно пополняются и совершенствуются. Создан программный комплекс Wiki2TeX, поддерживающий работу со словарем и энциклопедией. Он позволяет строить набор TeX-документов, образующих оффлайн версию базы данных вики, построенной с помощью MediaWiki, а также выполнять и обратную операцию – преобразовывать TeX-документы в статьи MediaWiki и добавлять их к заданной вики.

Словарь WikiGRAPP и энциклопедия WEGA находятся в открытом доступе в сети Интернет, начиная с 1999 года. Все эти годы они вместе с опубликованными разработчиками систем книгами и учебными пособиями успешно применяются в учебном процессе Новосибирского госуниверситета, в частности в рамках спецкурса «Графы в программировании». Разрабатываются методы и средства поддержки полноценной динамической визуализации графовых алгоритмов, представленных в энциклопедии.

Подготовлен к изданию «Англо-русский словарь по графам для программиста», который отражает текущее состояние словаря WikiGRAPP и энциклопедии WEGA и дополнительно охватывает более 1000 новых терминов по сравнению с соответствующей частью предыдущего словаря [6], подготовленного на базе этих систем в 2011 году.

Авторы благодарны всем коллегам, которые принимали участие в работах, рассмотренных в докладе.

Список литературы

1. Касьянов, В. Н. Теоретико-графовые методы и системы программирования / В. Н. Касьянов, Е. В. Касьянова // Проблемы информатики. – 2016. – № 1. – С.26-38.

2. Касьянов, В. Н. Методы и технологии конструирования эффективных и надежных программ и программных систем на основе

графовых моделей и семантических преобразований / В. Н. Касьянов, Е. В. Касьянова // Системная информатика. – 2021. – № 19. – С.1-14.

3. Евстигнеев, В. А. Применение теории графов в программировании / В. А. Евстигнеев. – М.: Наука, 1985. – 352 с.

4. Евстигнеев, В. А. Толковый словарь по теории графов в информатике и программировании / В. А. Евстигнеев, В. Н. Касьянов. – Новосибирск: Наука, 1999. – 286 с.

5. Евстигнеев, В. А. Словарь по графам в информатике / В. А. Евстигнеев, В. Н. Касьянов. – Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2009. – 299 с.

6. Евстигнеев, В.А. Русско-английский и англо-русский словарь по графам в информатике / В. А. Евстигнеев, В. Н. Касьянов. – Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2011. – 219 с.

7. Касьянов, В. Н. Оптимизирующие преобразования программ / В. Н. Касьянов. – М: Наука, 1988. – 334 с.

8. Касьянов, В. Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В. Н. Касьянов, В. А. Евстигнеев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.

9. WikiGrapp [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://pco.iis.nsk.su/grapp/

10. WEGA [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://pco.iis.nsk.su/wega/

11. MediaWiki [Электронный ресурс] – http://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/ru/

12. Лекции по теории графов / В. А. Емеличев и [др]. – М.: Наука, 1990. – 382 с.

13. Ершов, А. П. Введение в теоретическое программирование (беседы о методе). – Новосибирск: Наука, 1977. – 288 с.

14. Кнут Д. Э. Искусство программирования для ЭВМ. Том 1. Основные алгоритмы. – М.: Мир, 1976. – 734 с.

15. Кнут Д. Э. Искусство программирования для ЭВМ. Том 2. Получисленные алгоритмы. – М.: Мир, 1977. – 723 с.

16. Кнут Д. Э. Искусство программирования для ЭВМ. Том 3. Сортировка и поиск. – М.: Мир, 1978. – 843 с.

«Библиотека ЦОК» как эффективный инструмент повышения качества знаний по предмету

Л. Н. Копалиани, email: ramaz-kopaliani@yandex.ru

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа № 98 г. Воронежа

Аннотация. *Эффективным инструментом для повышения качества знаний по предмету является «Библиотека ЦОК». Данная подсистема позволяет снизить трудозатраты в организации онлайн-среды: отборе учебных материалов, разработке контента, создании проверочных форм.*

Ключевые слова: *подсистема «Библиотека ЦОК», цифровой образовательный контент, предметно-образовательная среда.*

Введение

Источником разрыва между деятельностью и нормой является скорость изменения мира и тех условий, где живут и будут жить наши дети. Сегодня можно говорить о таком понятии как меняющийся, сложный мир, в котором царит нестабильность, изменчивость, неопределенность условий социализации выпускников школ, сложность, неоднозначность, неясность, двусмысленность.

Выпускник школы не может рассчитывать на раз и навсегда полученные знания и навыки, так как меняется спектр задач, жизненные сферы, социальные отношения, в рамках которых необходимо себя реализовать. Для успешного функционирования в обществе нужно уметь использовать знания, умения и навыки для решения жизненно важных задач, самостоятельно мыслить и функционировать в сложных ситуациях. Всё это и включается в понятие функциональной грамотности, то есть человек должен обладать максимальной гибкостью, способностью адаптироваться к меняющимся требованиям.

Поэтому выпускникам наших школ важно не только много знать и уметь, но и развивать, формировать навыки 21 века: обладать умением ориентироваться быстро в разных неопределенных ситуациях, быть всегда готовым к самообучению, самостоятельно осуществлять поиск необходимой информации, проводить её анализ, формулировать цели и задачи, затем оценивать достигнутые результаты, осваивать инновационные технологии, быть лидером (или командиром) при

© Копалиани Л. Н., 2025

достижении одних задач и исполнителем (участником общего дела) при выполнении других, одним словом, уметь работать в команде.

Дистанционные технологии занимают одно из важных место в процессе современного образования, поэтому с 1 января 2023 г. ФГИС «Моя школа» общедоступна во всех регионах нашей страны к использованию. Подсистема используется при реализации рабочих программах различных дисциплин в качестве вспомогательного дополнительного инструмента традиционной российской системы обучения, который призван облегчить работу педагогов.

1. Использование возможностей подсистемы «Библиотека ЦОК» для повышения качества знаний по предмету

Часто в своей практике я сталкиваюсь с несоответствием личностных интересов учеников и содержанием программ, а также несовершенством механизмов, позволяющих формировать у обучающихся навыки самостоятельной учебной деятельности с учетом уровня их развития, индивидуальных особенностей и интересов. Ребята часто не имеют мотивацию к обучению, они не активны, не учитываются в обучении их индивидуальные особенности.

Хорошим инструментом, который обеспечивает увлеченную и результативную работы обучающихся, является персонализированный подход, он акцентирует внимание в обучении на развитие у школьников навыков 21 века, к которым относятся умения ставить и достигать необходимых поставленных целей, уметь слушать собеседника и понимать самого себя [1, 2]. Таким новым инструментом при реализации персонализированного образования как перспективной инновационной модели развития стала подсистема «Библиотека ЦОК».

«Библиотека ЦОК» помогает обучающимся планировать персональную образовательную траекторию, ставить нужные для себя образовательные цели, задачи, контролировать собственное время и темп обучения, планировать для выполнения те или иные упражнения, способы, приёмы их решения и проверки, работать самостоятельно или в группе, мотивировать себя и других.

Подсистема «Библиотека ЦОК» позволяет уменьшить мою нагрузку в организации онлайн-среды: это отбор учебного материала и разработка контента, это создание проверочных тестов, а также появляется возможность моего профессионального развития при работе на данном ресурсе.

«Библиотека ЦОК» обеспечивает моих учеников всеми образовательными ресурсами для обучения на одной единой платформе, а родители в свою очередь могут следить за успехами ребенка по всем

предметам, акцентировать внимание на том, чего он уже добился, а не на том, что у него не получается.

Обучение с помощью подсистемы «Библиотека ЦОК» позволяет развивать интеллектуальные способности обучающихся, а также развивать ответственность, самостоятельность, взаимодействие с детьми, предметно-пространственную среду класса.

Подсистема «Библиотека ЦОК» повышает возможность поиска интересующей информации, просмотр её и добавление в портфель. Поставщиками цифрового образовательного контента «Библиотека ЦОК» являются: Академия Минпросвещения России, РЭШ, Общество «Знание», ИСРА РАО, Минкультуры России и др.

«Библиотека ЦОК» содержит обучающее видео (визуализация материала), дополнительный контент, расширяющий возможности исследовательской деятельности, различные интерактивные тренажеры, подкасты, инфографики, интересный контент (сторонний контент, привязанный к платформе).

Основная единица содержания цифрового образовательного контента определяет логическую последовательность освоения учебного материала и имеет блочно-модульную структуру: вхождение в тему урока, освоение нового материала, применения изучаемого материала, проверка приобретенных знаний, подведение итогов.

При таком электронном обучении в подсистеме «Библиотека ЦОК» отсутствует понятие «пропущенные уроки», обучающиеся могут в любое им удобное время вернуться и изучить упущенный материал, поэтому нет деления материала на домашнюю и классную работу, учитываются лишь фактические трудозатраты учеников.

В данной подсистеме обучающиеся не только работают постоянно за одним только компьютером, но и осуществляют различные формы общения: работа в паре, тройке, группе.

Также «Библиотека ЦОК» позволяет мне уйти от таких рутинных процессов как планирование и проверка выполненного материала, так как на платформе они автоматизируются, что помогает экономить учебное время. Благодаря автоматизированной проверке большей части заданий, существует возможность осуществлять оперативную обратную связь по результатам выполнения отдельных заданий, то есть цифровая платформа помогает ученику самостоятельно учиться, а учителю учить, выполняя различные роли: методиста, тьютора, психолога.

Подсистема «Библиотека ЦОК» способствует формированию образовательной среды, которая ориентирована на развитие каждого обучающегося в соответствии с выбранной персональной траекторией, направленной на развитие навыков 21 века.

Ресурсы подсистемы «Библиотека ЦОК» помогают оптимизировать множество рутинных процессов: подготовка к занятиям, поиск материалов, составление и проверка домашнего задания, а также делают занятия более динамичными и интересными.

В подсистеме «Библиотека ЦОК» разработаны виртуальные лабораторные/практические работы, которые являются экспериментом, основанным на технологиях мультимедиа, эмуляции, виртуализации и виртуальной реальности, способный полностью или частично заменить аналогичный традиционный натурный эксперимент.

«Библиотека ЦОК» даёт мне возможность конструировать свои собственные межпредметные модули школьного уровня для персонализированного обучения по формированию функциональной грамотности, что позволяет компенсировать фрагментарность содержания образования, повысить его актуальность.

Заключение

Актуальность необходимости развития персонализации образовательной деятельности через подсистему «Библиотека ЦОК» очевидна, так как современное образование выдвигает высокие требования к уровню развития обучающихся.

Таким образом, подсистема «Библиотека ЦОК» способствует созданию метапредметно-образовательной среды, ориентированной на развитие каждого обучающегося в соответствии с выбранной индивидуальной траекторией, направленной на персональное, современное образование, формирование метапредметных результатов обучения.

Если педагог стремится повысить активность и самостоятельность обучающихся, получить высокое качество знаний по изучаемому учебному курсу, научить обучающихся понимать абстрактные теоретические положения, то подсистема «Библиотека ЦОК» для него станет одним из часто используемых инструментов.

Список литературы

1. Васильченко, С. Х. Формирование персональной образовательной среды на основе информационных технологий для реализации индивидуальных траекторий обучения: дис. канд. пед. наук: 13.00.02 / Васильченко Светлана Хамзаевна – Фед.гос. нач. учр. РАО; М., 2012. – 197 с.

2. Ермаков, Д. С. Персонализированная модель в «цифре» / Д.С. Ермаков, П.Н. Кириллов // Научно-публицистический журнал «Образовательная политика». – №3 (79). – 2019. – С. 132-1411.

«Цифровой психолог»: опыт использования дистанционных технологий в работе школьного психолога

О. Е. Кузьмина, email: klimkuz@mail.ru

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа № 69 г. Воронеж

Аннотация. *В работе рассматривается применение дистанционных технологий в работе педагога-психолога. В последние годы дистанционные технологии значительно изменили подходы к работе школьного психолога. Их использование стало особенно актуальным в условиях пандемии, когда традиционные методы взаимодействия с учениками и их семьями оказались ограниченными. Внедрение их в психологическую практику позволяет сделать работу школьного психолога более продуктивной и эффективной. При этом использование дистанционных технологий эффективно дополняет традиционные формы работы психолога в школе, расширяя его возможности в организации взаимодействия с другими участниками образовательного процесса.*

Ключевые слова: *цифровой психолог, онлайн-диагностика, онлайн-консультация, учебные платформы «Дневник.ру», «Сферум».*

Введение

Информатизация в работе школьного психолога представляет собой важнейший аспект современного образования, открывающий новые горизонты для эффективного взаимодействия с учениками, их родителями и педагогическим составом. Внедрение информационных технологий в психологическую практику позволяет оптимизировать процессы диагностики и коррекции, а также улучшить качество психолого-педагогического сопровождения.

Современные психологи используют специализированное программное обеспечение для анализа психоэмоционального состояния учащихся, а также для создания индивидуальных программ развития. Это не только ускоряет процесс обработки данных, но и повышает точность диагностики, позволяя своевременно выявлять риски и проводить необходимые превентивные мероприятия.

Кроме того, электронные ресурсы предоставляют доступ к методическим материалам и последним исследованиям в области психологии, что способствует повышению квалификации специалистов.

© Кузьмина О. Е., 2025

В последние годы дистанционные технологии значительно изменили подходы к работе школьного психолога. Их использование стало особенно актуальным в условиях пандемии, когда традиционные методы взаимодействия с учениками и их семьями оказались ограниченными.

Виртуальные консультации и онлайн-платформы открывают новые возможности для работы с детьми и их семьями, позволяя получать помощь в любое время и в любом месте. Таким образом, информатизация становится неотъемлемой частью успешной практики школьного психолога, способствуя созданию безопасной и поддерживающей образовательной среды.

1. Описание работы педагога-психолога в образовательном учреждении

В процессе обучения всё чаще появляется необходимость в интеграции технологий, и одной из самых инновационных практик стало внедрение цифрового психолога в школе. Этот специалист использует разнообразные цифровые инструменты и платформы для поддержки эмоционального и психического здоровья учащихся. использует разнообразные цифровые инструменты и платформы для поддержки эмоционального и психического здоровья учащихся [1, 2].

Цифровой психолог применяет онлайн-тесты, интерактивные задания и виртуальные консультации, что позволяет создать безопасное пространство для саморазмышлений и самовыражения. Благодаря этому, ученикам становится проще делиться своими переживаниями и находить помощь в трудные моменты.

Важной задачей такого специалиста является не только помощь в решении возникающих проблем, но и профилактика различных психологических расстройств, связанную с учебной нагрузкой, социальной адаптацией, а также личными конфликтами. Цифровой психолог обучает детей навыкам эмоционального интеллекта, что, безусловно, способствует развитию их социальной компетенции.

Таким образом, цифровой психолог становится важной частью школьной системы, помогая создавать гармоничную и поддерживающую образовательную среду для всех учеников.

Информатизацию деятельности педагога-психолога в школе можно рассмотреть по следующим направлениям:

1. Психологическое просвещение и консультирование;
2. Психодиагностика;
3. Коррекция и развитие личности;
4. Психологиеское сопровождение педагогов;

5. Совершенствование профессиональной компетентности психолога.

Повысить интерес к психологической службе школы, а также поднять уровень психологической культуры всех участников образовательного процесса помогает использование широкого спектра возможностей, предлагаемых ИКТ: презентации и медиапрезентации, созданные с помощью программы Microsoft Office Power Point, создание и монтаж видеороликов, с использованием видеоредакторов Movavi, Windows Movie Maker, информационный экран, ведение своей странички на официальном сайте школы.

Данные методы позволяют делать представляемую информацию зрительно наиболее воспринимаемой, использовать фотографии, изображения, видеосюжеты о школьной жизни обучающихся, оформлять диаграммы и графики с результатами диагностирования.

С помощью сетевого взаимодействия можно намного быстрее решить проблему, донести информацию до представителей целевых групп. Сетевое взаимодействие происходит через группу МБОУ СОШ №69 в социальной сети ВК, электронную почту, мессенджерами WhatsApp, Viber, электронную учительскую на единой образовательной сети Дневник.ру.

Электронная система тестирования делает психодиагностическую работу психолога более продуктивной, позволяет экономить временные ресурсы.

В психодиагностике можно использовать тесты как из сети Интернет, так и из электронных пособий.

В своей практике я использую следующие интернет-ресурсы: «Психологическая лаборатория», Online Test Pad и многие другие.

Работа в текстовых редакторах (Microsoft Word, OpenOffice Writer) позволяет подготовить стимульный материал и бланки для психодиагностики, отчетной документации.

С использованием программы Microsoft Excel можно формировать разнообразные виды отчетов – как текстовых, так и графических. Электронный журнал является важной рабочей документацией для педагога-психолога, позволяющей не только упорядочить деятельность специалиста в учебном заведении, но и оценить его нагрузку, а также объем выполненных работ. Рабочий журнал охватывает основные аспекты работы психолога в образовательной среде.

В образовательных учреждениях Воронежа среди учащихся 7-11 классов проводится ежегодное онлайн-тестирование для раннего выявления лиц, употребляющих наркотические вещества. Подготовка к этому мероприятию помогает мне совершенствовать навыки работы с

данной программой: создавать базы данных и использовать их результаты для дальнейших профилактических действий.

Компьютерные технологии активно применяются в коррекционно-развивающей практике школьного психолога. К таким технологиям относятся обучающие программы, которые способствуют развитию познавательных процессов, повышению мотивации к учебе и формированию творческих способностей.

В своей практике я часто использую психологические тренажеры, сосредотачиваясь на развитии определенных навыков, таких как внимание и восприятие. Лучше всего применять тренажеры в индивидуальной работе, где ребенок взаимодействует с инструментом, а психолог лишь контролирует и поддерживает процесс, что значительно увеличивает эффективность занятий [3, 4].

При взаимодействии с педагогическим коллективом на совещаниях и методических объединениях я использую информационные технологии: информирую коллег по различным вопросам, разрабатываю методические рекомендации с учетом интернет-ресурсов.

Неотъемлемой частью работы любого педагога-психолога является саморазвитие. Важно помнить, что использование ИКТ-технологий значительно влияет на развитие профессиональной компетентности: участие в дистанционных конкурсах, создание электронного портфолио, прохождение аттестации, ведение собственных веб-сайтов и подготовка учащихся к дистанционным олимпиадам. Интернет предоставляет множественные возможности для взаимодействия педагога-психолога с коллегами через блоги, форумы и специализированные рассылки.

Дистанционные технологии позволяют школьным психологам эффективно отслеживать эмоциональное состояние студентов, выявлять проблемы на ранних стадиях и предлагать своевременные решения. С помощью онлайн-тестирования можно быстро оценить уровень стресса, тревожности и депрессии у учащихся, а результаты анализировать в индивидуальном и групповом формате. Таким образом, психологи могут разрабатывать специальные программы для повышения психологической устойчивости и адаптивности учеников.

Однако, несмотря на все преимущества, переход на дистанционные форматы требует особого внимания к вопросам конфиденциальности и безопасности данных. Школьным психологам необходимо обеспечивать защиту личной информации клиентов и создавать безопасную обстановку для открытого общения. В конечном итоге, дистанционные технологии могут стать важным инструментом в арсенале школьного психолога, повышая доступность психологической помощи для всех учащихся.

При этом важно отметить, что дистанционные методы требуют от школьных психологов новых навыков и подходов. Общение через экран может ограничивать невербальную коммуникацию, что затрудняет полное понимание эмоциональных состояний учеников. Поэтому психиатрам необходимо развивать умение считывать эмоции через цифровую призму, учитывая особенности виртуального взаимодействия.

Кроме того, виртуальные консультации могут создать у детей и подростков ощущение анонимности, что иногда облегчает обсуждение сложных тем. Однако это также может привести к недопониманиям и нарушениям в установлении доверительных отношений. Следовательно, психологам следует активно работать над созданием теплой и поддерживающей атмосферы, даже в удалённом формате.

Существует и значительный потенциал для групповой работы. Вебинары и онлайн-группы поддержки позволяют собирать учащихся с общими проблемами, предоставляя платформу для обмена опытом и ресурсами. Это формирует чувство общности и позволяет учащимся находить поддержку среди сверстников.

Заключение

Систематизация информации, собранной с помощью новых технологий, открывает возможности для проведения аналитических исследований и создания статистики по вопросам психического здоровья в образовательных учреждениях. Это, в свою очередь, способствует разработке более комплексных и персонализированных программ помощи, основанных на реальных данных и актуальных потребностях учеников.

Дистанционные технологии в работе школьного психолога создает предпосылки для формирования более гармоничной образовательной среды. Применение современных технологий помогает психологам быть не только специалистами в области психологии, но и творцами образовательной среды, где каждый ученик чувствует поддержку и заботу вне зависимости от нахождения или отсутствия обучающихся в школьном учреждении.

Таким образом, интеграция дистанционных технологий в работу школьного психолога открывает новые горизонты и возможности для расширения доступа к психологической помощи, но при этом требует внимательного подхода и постоянного обучения.

Список литературы

1. Беспалова, Л. В. Технологии создания автоматизированных систем обработки результатов диагностики в программе Microsoft Excel / Л. В. Беспалова, Н. А. Болсуновская. – М.: Владос. – 2006. – 162 с.

2. Дюк, В. А. Компьютерная психодиагностика / В. А. Дюк. – С-Пб. – 1994. – 123 с.
3. Носс, И. Н. Руководство по психодиагностике / И. Н. Носс. – М: Изд-во Института психотерапии. – 2005. – 60 с.
4. Соловьева, Д. Компьютерные технологии для психолога / Д. Соловьева // Школьный психолог. – 2009. – № 24. – С. 8-10.

Подготовка ИТ-инженеров с применением электронных образовательных ресурсов

Н. П. Можей, email: mozheynatalya@mail.ru
Е. А. Шинкевич, email: elena_s111@mail. ru

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Аннотация. *Работа посвящена описанию особенностей создания и внедрения в учебный процесс электронных образовательных ресурсов по естественнонаучным дисциплинам. Обсуждаются преимущества и недостатки применения системы дистанционного обучения на основе модульной объектно-ориентированной динамической обучающей среды.*

Ключевые слова: *электронный образовательный ресурс, обучающая среда, информационные технологии.*

Введение

Дистанционные образовательные технологии прочно закрепились в образовательном пространстве. По нашему мнению, это связано как с требованиями времени, так и, в большей степени, с положительным опытом их применения.

Дистанционное обучение может быть выбрано обучающимся по различным причинам: из-за возможности учиться в удобном темпе, по состоянию здоровья, из-за территориального расположения вуза и т.д. Подготовка и уровень знаний у студентов разный и если при очном обучении у преподавателя есть возможность во время занятия корректировать сложность излагаемого материала, то дистанционное обучение не предполагает такой вариант. Поэтому материалы, которые готовятся для такого вида обучения, должны быть рассчитаны на разный контингент, а, соответственно, быть разноуровневыми. В этом случае, тот, кто имеет более слабую подготовку, может изучить необходимую литературу «с нуля», а тот, кто является более продвинутым потребителем данного контента, может просто бегло пролистать уже известные ему сведения.

В соответствии с новыми образовательными стандартами учебные планы специальностей разбиты на модули, содержащие по несколько учебных дисциплин, каждая дисциплина предполагает приобретение определенных компетенций. Для поддержки учебного процесса в Белорусском государственном университете информатики и

© Можей Н. П., Шинкевич Е. А., 2025

радиоэлектроники создаются электронные образовательные ресурсы [1] по дисциплинам на основе модульной объектно-ориентированной динамической обучающей среды. Каждому разделу изучаемой дисциплины посвящается модуль, содержащий теоретические и практические материалы курса и тестирующие и контролирующие программные средства.

1. Контроль знаний в электронных образовательных ресурсах

Контроль знаний в электронных образовательных ресурсах осуществляется с помощью заданий и тестов [2]. Предварительно формируются категории тестовых заданий с разбивкой по темам. В каждой категории банка вопросов создаются тестовые задания определенного типа. На страницу курса добавляется в нужной теме элемент «Тест» и в режиме его редактирования настраиваются его основные параметры. Потом переходим в тест и загружаем нужное количество вопросов в область теста. В тест можно добавлять вопросы из банка либо использовать случайный выбор в определенной категории, вопросы можно тасовать, классифицировать по уровню сложности, можно импортировать вопросы, подготовленные в других форматах. Так же в ресурсе могут быть реализованы вопросы нестандартных типов: выбор пропущенных слов, перетаскивание в текст, перетаскивание на изображение, упорядочение и т.д. Тесты могут быть как обучающими (студентам показываются правильные ответы с комментариями), так и контрольными (студентам сообщается только итоговая оценка). Содержание вопроса и вариантов ответов может включать графику, аудио- и видео ресурсы, гиперссылки, формулы и др. Время прохождения теста может быть ограниченным. Для теста может быть установлено несколько попыток его прохождения, а также могут начисляться штрафы за неправильные ответы. По каждому тесту можно просмотреть подробную статистику, как в разрезе группы, так и по каждому студенту в отдельности (время прохождения, количество попыток, итоговый результат и т.д.). Результаты теста могут быть отсортированы по различным полям сводки тестирования (фамилия, дата, оценка и т.д), выгружены в определенные форматы, например, в формат электронных таблиц Excel, и использованы в различных отчетах, ресурс поддерживает различные форматы импорта и экспорта банка тестовых вопросов. Остановимся подробнее на особенностях создания и внедрения в учебный процесс электронных образовательных ресурсов по различным естественнонаучным дисциплинам.

2. Преподавание естественнонаучных дисциплин с использованием электронных образовательных ресурсов

Дисциплина «Статистические методы анализа данных» является базовой вероятностно-статистической дисциплиной, так как знания, полученные при ее освоении, могут быть использованы при изучении широкого спектра дисциплин. Современному специалисту для принятия оптимальных управленческих решений в различных областях деятельности необходимо учитывать сложную взаимосвязь разнообразных факторов, оказывающих воздействие на изучаемые процессы. Статистический анализ расширяет возможности принятия таких решений в задачах, где основные параметры не могут контролироваться с достаточной точностью. Данная дисциплина предполагает изучение методов предварительного статистического анализа данных, владение которыми необходимо для дальнейшего изучения любых дисциплин, связанных с моделированием и исследованием различных процессов, методов статистической проверки гипотез, методов корреляционного-регрессионного анализа, методов анализа временных рядов, а также многомерных статистических методов. Перечисленные компетенции позволят осуществлять предварительный статистический анализ данных с целью установления модели данных, выявления структуры данных и аномальных наблюдений, проводить статистический анализ многомерных данных с целью установления статистических зависимостей методами корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа, осуществлять статистический анализ однородности многомерных данных на основе графического анализа и статистических критериев, а также классификацию неоднородных данных с помощью многомерных статистических методов. Следует отметить, что многомерные статистические методы в настоящее время широко используются в экономике, технике, социологии, демографии, медицине и других областях знаний и позволяют моделировать сложные процессы и явления. При подготовке материалов для дистанционного вида обучения были учтены следующие моменты: для качественного освоения материала по данной дисциплине необходимы достаточно глубокие знания теории вероятностей и математической статистики, а также предполагается владение на хорошем уровне некоторыми программными продуктами, позволяющими выполнять статистическую обработку больших массивов данных. Все необходимые сведения присутствуют в теоретическом и практическом блоках предлагаемых материалов для изучения. Как отмечено ранее, выполнение лабораторных работ, предусмотренных программой курса, предполагает

использование соответствующих программных продуктов. Методические указания по их применению также разработаны и предложены для изучения студентам. Причем студенты не ограничены в выборе подходящих программных продуктов, которых в настоящее время существует достаточно много. Также подготовлены материалы для промежуточного контроля в виде тестов по темам курса, контрольной работы и индивидуальных заданий согласно программе дисциплины. Промежуточные тесты в какой-то мере отражают освоение дисциплины, а вместе с выполненной контрольной работой и индивидуальным заданием позволяют студенту понять степень готовности к итоговому контролирующему мероприятию.

В курсе «Математическое программирование» студенты получают знания по линейному программированию, теории игр, сетевому планированию и управлению, нелинейной оптимизации и ее приложениям, знакомятся с элементами многокритериальной оптимизации и динамического программирования. Предлагаемый студентам в электронном образовательном ресурсе материал должен помочь им в изучении основных методов решения задач математического программирования. Сначала приводятся классические методы решения оптимизационных задач, потом рассматривается линейное программирование и его применение, в частности, в теории игр, в сетевом планировании и управлении. Дальнейший материал посвящен методам нелинейной одномерной и многомерной минимизации, разбираются задачи оптимального управления и методы их решения. В каждой теме дается краткая характеристика рассматриваемых методов, приводятся основные рабочие формулы и алгоритмы решения задач математического программирования, применение алгоритмов иллюстрируется примерами. Кроме того, по каждой теме подготовлены контролирующие мероприятия, что позволяет студентам обнаружить пробелы в ходе изучения дисциплины, а не во время экзамена.

«Дискретная математика» является математической основой современных информационных технологий, она рассматривается как язык и математические средства построения и анализа моделей в области проектирования автоматизированных систем управления, обработки информации и конструирования средств вычислительной техники и электронных устройств. Знания и навыки, полученные при изучении курса дискретной математики, являются общепрофессиональными, формируют базовый уровень знаний для освоения других специальных учебных дисциплин. Освоение курса дискретной математики способствует формированию у студентов

навыков дискретного математического мышления, умения применять его в конкретных задачах проектирования обработки информации. Большое значение в рамках изучения дискретной математики уделяется математической логике, булевой алгебре, теории множеств, отношений и графов, в терминах которых формулируется большинство задач, связанных с дискретными объектами. Целью изучения дисциплины является освоение основных понятий и методов комбинаторики, теории булевых функций, множеств, отношений, графов; овладение математическим аппаратом дискретной математики для решения задач дискретной структуры из предметной области инженера, а также терминологической базой, необходимой для самостоятельного изучения специальной математической литературы; приобретение практических навыков формализации и решения прикладных задач с помощью методов дискретной математики; развитие логического мышления. По каждому разделу дисциплины в электронном образовательном ресурсе, кроме теоретических и практических материалов по изучаемой теме, приведены проверочные вопросы и тесты, позволяющие студентам и преподавателям оценивать, как пробелы в изучении материала, так и уровень освоения дисциплины в целом. Стоит также отметить, что в случае дистанционного обучения ответственность за качество и глубину освоения материала в течение семестра в основном лежит на самом обучающемся, так как корректировка знаний в этот период со стороны преподавателя минимальна.

Заключение

Таким образом, обсуждены преимущества и недостатки использования системы дистанционного обучения на основе модульной объектно-ориентированной динамической обучающей среды для изучения естественнонаучных дисциплин. Применение электронных образовательных ресурсов дает возможность модифицировать учебный процесс с целью повышения эффективности и качества обучения, процессов контроля получаемых знаний, умений и навыков.

Список литературы

1. Краснова, Г. А. Технологии создания электронных обучающих средств / Г. А. Краснова, М. И. Беляев, А. В. Соловов. – М. : МГИУ, 2001. – 224 с.

2. Балыкина, Е. Н. Вопросы построения тестовых заданий / Е. Н. Балыкина, В. Д. Скаковский // Основы педагогических измерений. Вопросы разработки и использования педагогических тестов : учеб.-метод. пособие / В. Д. Скаковский [и др.]; под общ. ред. В.Д. Скаковского. – Минск : РИВШ, 2009. – С. 128-155.

Система дистанционного образования СЭО 3KL как средство поддержки реализации образовательного процесса

И. В. Протасова, email: protasova@vsu.ru
Н. С. Дождёв
А. В. Семенихина
А. П. Толстобров
С. П. Ряполов

Воронежский государственный университет

Аннотация. *В статье представлен опыт Воронежского государственного университета по реализации образовательного процесса в смешанном формате с поддержкой среды электронного обучения СЭО 3KL (Русский Moodle). Описаны разработанные плагины, обеспечивающие интеграцию электронных курсов с учебными планами, автоматизацию регистрации студентов, управление доступом и мониторинг успеваемости, ведение электронной зачетной книжки.*

Ключевые слова: *электронная образовательная среда, СЭО 3KL, плагины, электронная зачетная книжка, мониторинг успеваемости.*

Введение

Неотъемлемой частью современного образовательного процесса является использование электронных образовательных ресурсов и цифровых сервисов. Постоянно расширяющиеся требования к внедрению новых технологий расширяют спектр задач, которые ставятся перед всеми участниками образовательного процесса. Имеющиеся стандартные решения не всегда адаптированы под конкретное учебное учреждение или находятся в состоянии апробации. В Воронежском государственном университете средствами ИТ-специалистов создаются сервисы, позволяющие оптимизировать работу преподавателей и обучающихся на портале «Электронный университет ВГУ». Разработанные сервисы учитывают специфику Цифровой образовательной среды Воронежского госуниверситета и расширяют функционал СЭО 3KL.

1. Поддержка реализации образовательного процесса с помощью системы СЭО 3KL

Цифровая образовательная среда ФГБОУ ВО «ВГУ» разветвленную структуру, охватывающую все аспекты организации

© Протасова И. В., Дождёв Н. С., Семенихина А. В., Толстобров А. П., Ряполов С. П., 2025

образовательного процесса. Отдельные структуры предназначены для хранения информации о контингенте обучающихся, их учебной деятельности, о преподавателях, о нормативном регулировании учебного процесса и др. Сервисы для коммуникации внутри вуза и со сторонними организациями обеспечивают взаимодействие участников образовательного процесса при реализации образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Информационным центром и основным ресурсом, который агрегирует всю актуальную информацию для пользователей является портал «Электронный университет ВГУ» [1]. В настоящее время образовательный процесс ФГБОУ ВО «ВГУ» реализуется в смешанном формате с поддержкой среды электронного обучения СЭО 3KL® (Русский Moodle) [2] на портале «Электронный университет ВГУ». Согласно внутреннему нормативному регулированию [3], для организации самостоятельной работы и, при необходимости, дистанционного проведения занятий для дисциплин учебных планов на портале создаются электронные учебные курсы (ЭУК) (рис.1). Их наполнение определяется назначением ЭУК.

В личных кабинетах обучающихся и преподавателей присутствуют специальные инструменты, которые оптимизируют их работу на сайте, а также решают ряд организационных задач. Они реализованы в виде специальных блоков, которые созданы программистами отдела электронного образования и дистанционных образовательных технологий Управления образовательной политики.

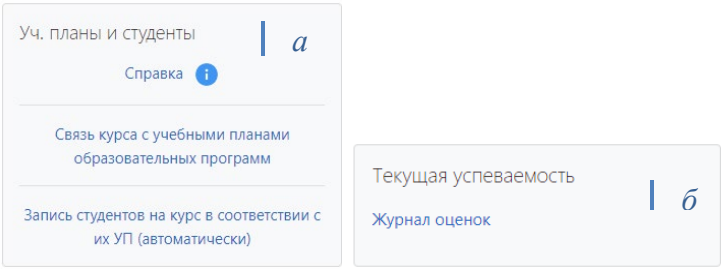


Рис. 1. Блоки для ассоциации электронного курса с дисциплиной учебного плана и групповой подписки студентов к ЭУК (а) и отражения журнала оценок (б).

На настоящий момент в университете за учебный год преподаются более 5500 дисциплин по разным направлениям и уровням подготовки. Каждый новый семестр для преподавателя начинается с подписки к

соответствующему ЭУК контингента студентов, изучающих дисциплину.

На портале создан блок «Учебные планы и студенты», который запускает плагин, выполняющий задачу связывания дисциплины учебного плана с ЭУК (рис.1). Связывание позволяет выбрать нужный контингент студентов по их принадлежности к факультету, специальности или направлению обучения, профилю, ступени образования, семестру учебного года и изучаемой ими дисциплине. В результате к ЭУК подписываются студенты, распределенные уже в контингенте по академическим группам и профилям. Полученный результат позволяет управлять доступам к информационным и оцениваемым элементам курса, назначать отдельным группам задания, вести учет посещаемости с помощью электронного журнала посещаемости, отслеживать результаты текущей работы с помощью электронного журнала оценок [1,3].

Наличие связи между электронным учебным курсом и дисциплиной, учебного плана, при преподавании которой этот ЭУК используется, дает возможность получать актуальную оценку оснащенности дисциплин учебных планов электронными учебными курсами (рис. 2).

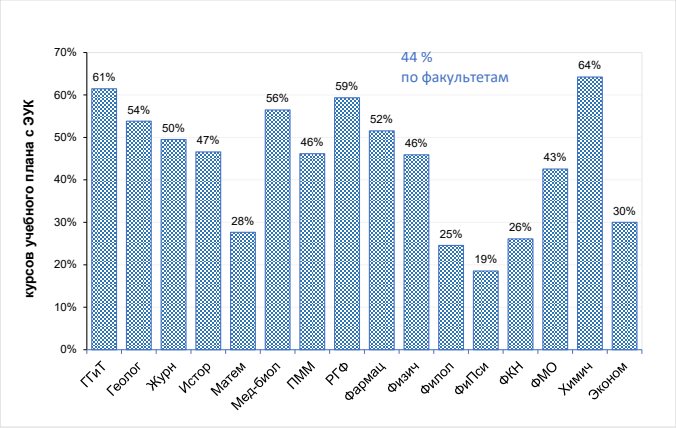


Рис. 2. Процент дисциплин учебных планов с активно используемыми ЭУК на портале «Электронный университет ВГУ» (данные за 2024 г.)

Еще одна задача, которую оптимизировали с помощью дополнительных плагинов, это регистрация на портале обучающихся

(рис.3). Этот сервис определяет принадлежность пользователя к контингенту обучающихся вуза, идентифицирует его по его профилю в базе данных контингента обучающихся.

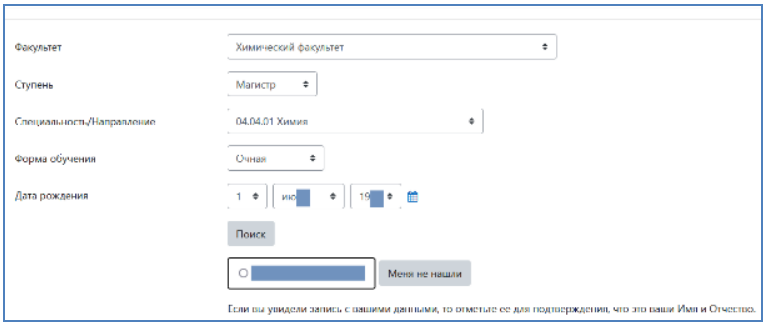


Рис. 3. Сервис подписки/восстановления пароля обучающихся на портале «Электронный университет ВГУ»

С помощью этого плагина пользователю, не обращавшемуся ранее к сайту или утерявшему свои учетные, формируется пароль с отправкой его на актуальную электронную почту, которую пользователь предоставляет при заполнении формы. Одновременно происходит отображение учетных данных на сайте, как результата обработки заполненной формы регистрации/восстановления пароля.

С ноября 2023 г. В Российской Федерации проводится эксперимент по формированию сведений в электронном виде о студенческих билетах и зачетных книжках. В университете проводится активная работа по организации доступа студентов к официальной информации о результатах их промежуточных аттестаций (внутренняя электронная зачетная книжка) [4]. Для доступа к этой формации был создан плагин, который предоставляет возможность студенту в личном кабинете выгрузить информацию о его успеваемости в виде текстового документа в форме выписки из информационной системы вуза об успеваемости (рис. 4). В дальнейшем этот документ студент может распечатать, подписать у декана и предоставить по требованию.

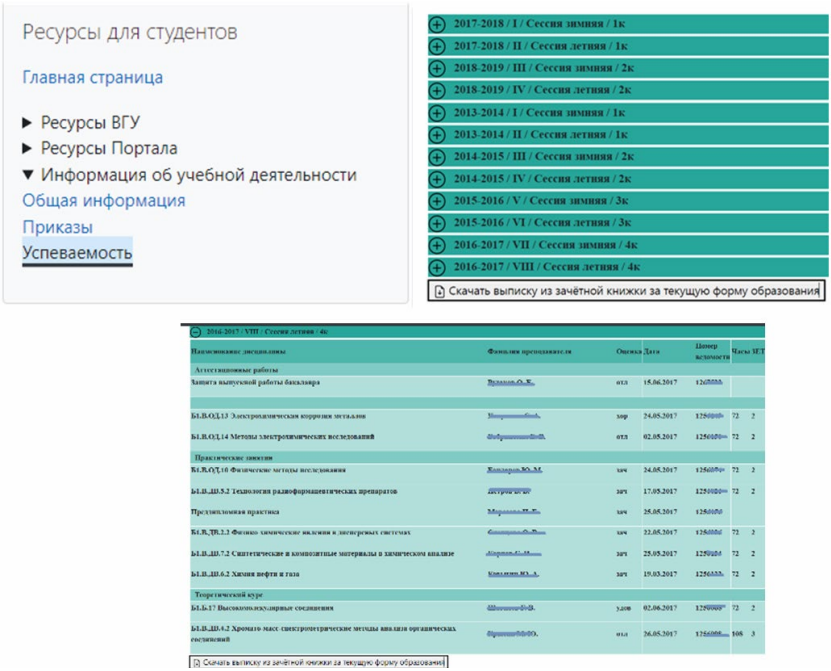


Рис. 4. Электронная зачетная книжка, реализованная в личном кабинете обучающегося

Заключение

Работа по созданию и использованию дополнительных расширений продолжает вестись силами сотрудников управления образовательной политики. Такая возможность предоставляется средой 3KL (Русский Moodle). Спектр решаемых задач определяется структурой университета (большой контингент студентов, обучающихся по разным профилям), спецификой организации образовательного процесса, развитием технологий и инструментов, используемых в образовательном процессе, а также задачами, которые ставит правительство с целью развития системы образования.

Список литературы

1. «Электронный университет ВГУ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://edu.vsu.ru

2. Среда электронного обучения 3KL (Русский Moodle) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://opentechnology.ru/

3. Положение об электронных учебных курсах Воронежского государственного университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tqm.vsu.ru/index.php?id=112&doc=docu_8351
4. Положение о порядке ведения зачетной книжки в электронном виде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tqm.vsu.ru/index.php?id=112&doc=docu_8398

Секция 7
Переход на профессиональные стандарты: требования к IT-компетенциям

Формирование компьютерной грамотности учащихся на уроках математики

Т. О. Калинина, email: kalinina-t-o@yandex.ru [1]
С. О. Добрикова, email: dobrikova-s-o@yandex.ru [2]
Т. В. Вострикова, email: vostrickova.t@yandex.ru [1]

[1] Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение Лицей № 15 г. Воронеж
[2] Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение Гимназия № 5 г. Воронеж

Аннотация. *В данной работе обозначены наиболее важные плюсы применения ИКТ-технологий на уроках математики, благодаря которым происходит формирование компьютерной грамотности обучающихся.*

Ключевые слова: *цифровизация учебного процесса, компьютерная грамотность учащихся, связь математической и компьютерной грамотности.*

Введение

Формирование функциональной грамотности закреплено в Федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС) Российской Федерации как одна из ключевых целей общего образования. Функциональная грамотность понимается как способность человека использовать приобретенные знания, умения и навыки в различных жизненных ситуациях для эффективного решения практических задач. ФГОС предусматривает использование междисциплинарного подхода, проектной деятельности, игровых методик и других активных форм обучения для формирования функциональной грамотности. Формирование функциональной грамотности является неотъемлемой частью образовательной политики России и находит отражение в требованиях ФГОС [1].

Информационные технологии существенно изменили образовательный процесс, сделав его более современным, интерактивным и эффективным. Однако успех их внедрения зависит от правильного сочетания традиционных методов обучения и новых технологий, а также от готовности педагогов и учащихся к этим изменениям. Применение информационных технологий на уроках – это использование разнообразных технических средств и программного

© Калинина Т. О., Добрикова С. О., Вострикова Т. В., 2025

обеспечения для улучшения качества образовательного процесса. Вот общая характеристика того, как информационные технологии применяются на уроках:

1. Мультимедийные ресурсы. Видео и аудио материалы: Учителя могут демонстрировать видеоуроки, документальные фильмы, аудиозаписи лекций и интервью, чтобы сделать материал более интересным и доступным для восприятия. Графические изображения и анимация: Использование фотографий, картинок, схем и анимации помогает визуализировать сложные концепции и процессы.

2. Электронные учебники и пособия. Электронные версии учебников и учебных пособий предоставляют доступ к актуальной информации, которая регулярно обновляется. Они часто содержат гиперссылки, интерактивные упражнения и тесты.

3. Интерактивные доски и проекционное оборудование. Интерактивные доски позволяют учителю демонстрировать контент, проводить опросы, писать заметки и сохранять результаты занятий. Проектор используется для демонстрации презентаций, видеороликов и изображений.

4. Программы для создания презентаций. Приложения вроде PowerPoint, Google Slides и Prezi используются для создания красочных и информативных презентаций. Презентации помогают структурировать материал и делают уроки более динамичными.

5. Облачные сервисы и онлайн-платформы. Облачные хранилища (Google Drive, Яндекс.Диск и др.) позволяют хранить и совместно редактировать документы, проекты и задания. Онлайн-платформы для дистанционного обучения (Moodle, Zoom, Teams) обеспечивают проведение уроков в режиме реального времени.

6. Образовательные игры и симуляции. Игровые элементы (геймификация) и симуляции привлекают внимание учащихся и стимулируют интерес к предмету. Такие подходы особенно эффективны в изучении естественных наук, истории и математики.

7. Тестовые системы и контроль знаний. Специальные программы и приложения позволяют проводить тестирование и оценку знаний учащихся. Результаты тестов автоматически обрабатываются, что экономит время учителя и дает точную картину успеваемости.

8. Интернет-ресурсы и базы данных. Доступ к Интернету открывает двери к огромному количеству образовательных ресурсов: энциклопедии, научные статьи, обучающие сайты, библиотеки и т.д. Это расширяет кругозор учащихся и предоставляет актуальную информацию.

9. Коммуникационные инструменты. Чаты, форумы, социальные сети и мессенджеры используются для общения между учениками и учителем, обсуждения тем уроков, совместной работы над проектами и консультаций.

10. Анализ больших данных и персонализация. Информационные технологии позволяют собирать и анализировать большие объемы данных об успеваемости учащихся, что помогает выявлять слабые стороны и разрабатывать индивидуальные планы обучения.

Преимущества применения информационных технологий на уроках: повышение интереса и мотивации учащихся; улучшение понимания сложных концепций благодаря мультимедийным материалам; развитие критического мышления и навыков анализа информации; возможность индивидуального подхода к обучению; экономия времени на проверку заданий и подготовку к урокам.

Вызовы и трудности: необходимость постоянного обновления оборудования и программного обеспечения; риски перегрузки учащихся информацией; возможные проблемы с технической поддержкой и доступностью Интернета; требования к повышению квалификации учителей.

1. Компьютерная грамотность учащихся

Формирование компьютерной грамотности у учащихся – это процесс обучения детей и подростков основным навыкам работы с компьютером и современными технологиями. Это значит, что они учатся:

– Пользоваться компьютером, открывать программы, сохранять файлы.

– Работать с текстом, оформлять документы, редактировать их, печатать.

– Использовать интернет для поиска информации, отправки писем, посещения полезных сайтов.

– Создавать презентации, готовить материалы для выступлений и проектов.

– Работать с таблицами, составлять списки, считать данные, строить графики.

– Защищать свои данные, понимать, как безопасно вести себя в интернете, не попадаться на уловки мошенников.

В итоге, ученики становятся уверенными пользователями современных устройств и могут применять эти навыки в учебе и повседневной жизни.

Формирование компьютерной грамотности у учащихся важно по нескольким причинам:

1. Учебный процесс: в современной школе многие предметы требуют использования компьютеров и цифровых технологий. Например, написание рефератов, выполнение лабораторных работ, участие в онлайн-уроках и тестировании. Без базовых знаний и умений работать с компьютером ученикам будет сложно успевать за программой.

2. Будущая карьера: Большинство профессий сегодня так или иначе связаны с использованием компьютера. Знание основ компьютерных программ, интернет-технологий и умение работать с информацией могут стать решающими при выборе профессии и успешном трудоустройстве.

3. Эффективность и скорость выполнения задач: Компьютеры позволяют автоматизировать рутинные задачи, ускорять обработку данных и улучшать качество выполняемой работы. Умение быстро находить нужные сведения, создавать документы и презентации значительно повышает продуктивность.

4. Развитие критического мышления: Работа с цифровыми источниками информации требует умения анализировать данные, отличать достоверную информацию от недостоверной, а также избегать дезинформации и манипуляций.

5. Социальная адаптация: В современном обществе невозможно обойтись без использования интернета, электронной почты, социальных сетей и других цифровых сервисов. Эти навыки помогают учащимся легче адаптироваться к изменениям в обществе и быть активными участниками цифровой среды.

Таким образом, формирование компьютерной грамотности является важным шагом для успешной учебы, будущей профессиональной деятельности и социальной адаптации учеников.

Современный образовательный процесс претерпел значительные изменения под влиянием процессов информатизации общества. Вот основные характеристики этого процесса:

– Цифровизация учебного контента. Учебники и учебные материалы все чаще доступны в электронном формате. Учащиеся могут использовать планшеты, ноутбуки и смартфоны для доступа к учебным ресурсам, что делает обучение более мобильным и гибким. Появляются интерактивные платформы и образовательные порталы, которые предлагают персонализированные программы обучения, тесты и задания.

– Онлайн-обучение. Онлайн-курсы, вебинары и дистанционные формы обучения становятся всё популярнее. Это позволяет учащимся получать знания независимо от места проживания и времени суток.

Пандемия COVID-19 ещё больше ускорила переход к онлайн-образованию, показав его важность и необходимость.

– Использование информационных технологий в классе. Учителя активно используют электронные доски, проекторы и другие технические средства для проведения уроков. Это делает занятия более наглядными и интересными. Программное обеспечение для создания презентаций, схем и диаграмм помогает преподавателям объяснять сложные темы проще и понятнее.

– Развитие критического мышления и информационной грамотности. С увеличением объема доступной информации учащиеся учатся фильтровать её, оценивать источники и делать выводы. Это способствует развитию аналитических способностей и критического мышления. Важным аспектом становится обучение правилам безопасного поведения в сети, защите персональных данных и борьбе с кибербуллингом.

– Интерактивные методы обучения. Современные технологии позволяют внедрять игровые элементы в учебный процесс (геймификация), что мотивирует учащихся и улучшает усвоение материала. Использование симуляторов, виртуальной реальности и дополненной реальности даёт возможность погружаться в различные ситуации и процессы, недоступные в реальной жизни.

– Персонализация образования. Благодаря информационным технологиям стало возможным индивидуализировать подход к каждому ученику. Система может отслеживать успехи каждого, предлагать дополнительные задания или корректировать программу в зависимости от уровня подготовки.

– Сотрудничество и обмен опытом. Социальные сети и образовательные форумы дают возможность учащимся общаться друг с другом, делиться знаниями и обсуждать учебные вопросы. Это создаёт атмосферу сотрудничества и взаимопомощи. Преподаватели тоже могут обмениваться опытом через профессиональные сообщества и повышать свою квалификацию.

– Доступность образования. Информатизация позволила сделать образование доступным для людей с ограниченными возможностями здоровья, проживающих в удалённых районах и тех, кто не имеет возможности посещать традиционные школы.

– Подготовка к будущему. Современное образование направлено на развитие навыков, необходимых в будущем, таких как работа с большими данными, искусственный интеллект, робототехника и программирование. Это помогает готовить молодых людей к вызовам будущего рынка труда.

Таким образом, информатизация общества оказывает значительное влияние на образовательный процесс, делая его более гибким, интерактивным и ориентированным на индивидуальные потребности учащихся [2].

Компьютерная грамотность учащихся – это умение пользоваться компьютером и его программами для решения различных задач. При формировании компьютерной грамотности на уроке математики можно использовать разнообразные приемы и методы, которые помогут учащимся освоить базовые навыки работы с компьютером и применить их в решении математических задач. Вот несколько примеров.

– Использование калькуляторов и математических программ. Калькуляторы: На начальном этапе можно научить школьников правильно использовать простые калькуляторы для вычислений. Постепенно переходить к научным калькуляторам, которые поддерживают функции тригонометрии, логарифмов и степеней. Математическое ПО: Программы типа Mathcad, Mathematica или GeoGebra позволяют решать сложные уравнения, строить графики функций, моделировать геометрические фигуры и многое другое.

– Решение задач с использованием табличных процессоров. Microsoft Excel или Google Sheets. Можно предложить учащимся решить математическую задачу с использованием формул и функций в таблицах. Например, построить график функции, найти среднее значение ряда чисел или рассчитать проценты.

– Моделирование и симуляция. Симуляторы физических процессов: Существуют программы, которые позволяют смоделировать физические явления, например, движение тел, колебания пружин, взаимодействие частиц. Это поможет учащимся понять абстрактные математические понятия через реальные примеры.

– Создание презентаций и отчетов [3]. PowerPoint, Excel или Google Slides: учащимся можно поручить подготовить презентацию по теме урока, включающую математические формулы, графики и схемы. Это развивает навыки работы с текстовым редактором и презентационными инструментами.

– Игровые методы и геймификация. Образовательные игры: Существуют множество игр, направленных на развитие математических навыков. Например, "Math Blaster" или "Prodigy". Эти игры делают процесс обучения более увлекательным и мотивируют учащихся.

– Онлайн-тесты и викторины. Платформы для тестирования: Создавайте тесты и викторины на онлайн-платформах, таких как Kahoot! или Quizlet. Это позволит учащимся проверить свои знания в игровой форме и сразу получить обратную связь.

– Проектная деятельность. Групповой проект: Предложите учащимся разработать групповой проект, связанный с математикой. Например, создать сайт или блог, посвященный решению определенной математической задачи, используя HTML/CSS/JavaScript.

– Работа с интерактивными досками. SMART Board или Promethean ActivBoard: Используйте интерактивные доски для демонстрации решений задач, построения графиков и выполнения математических операций. Это сделает урок более наглядным и интерактивным.

– Видеолекции и скринкасты [4]. Запись уроков: записывайте уроки или создавайте короткие видеоуроки, объясняющие решение сложных задач. Это даст возможность учащимся пересматривать материал дома и закреплять полученные знания.

– Коллаборация и совместная работа. Google Docs или OneDrive: Организуйте совместную работу над документами или проектами, используя облачные сервисы. Это научит учащихся работе в команде и использованию современных инструментов для совместной работы.

Эти приемы и методы помогут не только развить компьютерную грамотность учащихся, но и сделают изучение математики более интересным и практикоориентированным. В общем, компьютерная грамотность помогает учащимся лучше учиться, быстрее находить нужную информацию и быть готовыми к жизни в современном мире, где компьютеры играют важную роль.

Заключение

Математическая и компьютерная грамотность тесно взаимосвязаны, поскольку обе области знаний требуют логического мышления, анализа данных и решения задач. Именно математика формирует основы алгоритмического мышления, которое необходимо для программирования. Алгоритм – это последовательность шагов для решения задачи, и математика учит разбивать сложные задачи на более мелкие части, что напрямую применимо в программировании. Логические операции и структуры данных, изучаемые в математике, являются основой для многих языков программирования. Понимание булевой алгебры, множеств, матриц и других математических объектов помогает эффективно работать с данными в программах. Помимо этого, многие вычислительные методы, используемые в программировании, основаны на математических принципах. Например, численные методы решения дифференциальных уравнений, оптимизационные задачи и статистический анализ данных требуют глубокого понимания соответствующих разделов математики [5].

Компьютерная графика основана на геометрии и линейной алгебре. Для создания трехмерных моделей, анимации и спецэффектов необходимы знания о векторах, матричных преобразованиях и проекциях. Статистика и теория вероятностей играют ключевую роль в анализе данных и машинном обучении. Математические модели и алгоритмы используются для обработки больших объемов данных и прогнозирования будущих событий. Криптографические методы, обеспечивающие безопасность данных, базируются на теории чисел и комбинаторике. Понимание этих разделов математики позволяет разрабатывать надежные алгоритмы шифрования и аутентификации. Методы оптимизации, такие как линейное программирование и динамическое программирование, широко используются в управлении ресурсами, логистике и других областях. Эти методы требуют хорошего владения математическими моделями и алгоритмами. Финансовый анализ и моделирование также опираются на математические принципы. Создание финансовых моделей, оценка рисков и прогнозирование рыночных тенденций требуют знаний в области статистики, теории вероятности и математического анализа.

Таким образом, математическая грамотность служит фундаментом для развития компьютерной грамотности, позволяя глубже понимать принципы работы компьютеров и программного обеспечения. В свою очередь, компьютерная грамотность расширяет возможности применения математических знаний в реальных задачах и проектах. Эта синергия двух областей знаний способствует эффективному решению сложных проблем и инновациям в самых разных сферах человеческой деятельности.

Список литературы

1. Приказы Министерства просвещения Российской Федерации об утверждении федеральных государственных образовательных стандартов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://edsoo.ru/normativnye-dokumenty/

2. Норимова, Г. А. К трактовке терминов «компетенция» и «компетентность» / Г. А. Норимова, Ш. Р. Абдуразакова // Молодой ученый, 2013. – № 11. – С. 689-691.

3. Алиев, В. Excel 2010. Проще простого! // Валерий Алиев. – М.: Питер. – 2020. – 144 с.

4. Генне, О. В. Дистанционное обучение – новый шаг в развитии системы образований [Текст] / О. В. Генне // Защита информации. Конфидент. – 2004. – № 3. – С. 36-39.

5. Дойч, Нил. Информатика и математика / Нил Дойч ; пер. с англ. – Москва : Бином, 1998. – 256 с. – ISBN 5-7989-0052-X

Целевая модель универсальных компетенций доклада «Россия 2025: от кадров к талантам»

В. С. Попов, email: popov_vlad@mail.ru [1,2,3]
Л. А. Абросимова-Романова, email: larrar@yandex.ru [1]

[1] Тверской государственный университет
[2] МГТУ им. Н.Э. Баумана
[3] ГАОУ ВО МГПУ

Аннотация. *В статье рассмотрена модель компетенций доклада BCG «Россия 2025: от кадров к талантам», приведены проблемы экономики знаний в России и предлагаемые меры их преодоления, показана взаимосвязь подхода к классификации задач Й. Расмуссена и целевой модели компетенций. Целевая модель универсальных компетенций может рассматриваться как интеграция существующих моделей компетенций. Более широкая классификация цифровых компетенций способна усовершенствовать рассмотренную целевую модель компетенций.*

Ключевые слова: *компетенция, универсальная компетенция, модель компетенций, когнитивные навыки, социально-поведенческие навыки, цифровые навыки, категории профессий.*

Введение

Целевая модель универсальных компетенций [1, с. 20-21] была разработана The Boston Consulting Group (BCG) – компанией, входящей в «большую тройку» управленческого консалтинга – в рамках исследования 2017 года «Россия 2025: от кадров к талантам». Официальными партнёрами исследования выступили Сбербанк, благотворительный фонд Сбербанка «Вклад в Будущее», Ворлдскиллс Россия, Global Education Futures Foundation.

Фокусируясь на глобальных тенденциях и региональных экономических особенностях, авторы доклада [1] отмечают, что группа стран, совершивших переход к экономике знаний как новому экономическому укладу, обладает схожей структурой рынка труда [1, с. 8]. Отмечается, что в экономике таких стран большую долю рабочих мест занимают высококвалифицированные специалисты, способные работать в условиях неопределённости, творчески решать сложные аналитические задачи, учиться в течение всей жизни. Подготовить таких специалистов к работе в экономике знаний призваны реализация

© Попов В. С., Абросимова-Романова Л. А., 2025

компетентностного подхода и разработанная авторами доклада [1] целевая модель универсальных компетенций.

Хотя доклад [1] был представлен в 2017 году, а цели его реализации направлены к 2025 году, содержащиеся в нём основные тезисы и предложения не потеряли своей актуальности.

1. Экономика знаний в России: проблемы и меры их преодоления

Авторы доклада [1] подчёркивают низкую долю высокотехнологического производства и, соответственно, малое количество рабочих мест категории «Знания» в России, выделяя следующие три ключевые причины:

– Отсутствие критической массы спроса на знания [1, с. 8], источником чего являются ориентированный на экспорт сырьевой характер экономики, структура работодателей с большой долей государства и медленными темпами роста количества предприятий малого и среднего бизнеса, неэффективная социальная занятость, стагнация цифровой экономики, неразвитый венчурный рынок.

– Система образования, не готовящая кадры для экономики знаний [1, с. 8]. Авторами отмечаются проблемы при подготовке школьных учителей по новым образовательным стандартам, снижение качества высшего образования, слабое взаимодействие по оси вуз-работодатель, отсутствие практики обучения на протяжении всей жизни и формальный характер повышения квалификации [1, с. 9].

– Отсутствие среды, необходимой для развития и самореализации человека [1, с. 9]. Авторы доклада [1] подчёркивают низкую оплату труда, отсутствие должной дифференциации оплаты труда неквалифицированных и квалифицированных работников, что снижает мотивацию людей к обучению и выбору высококвалифицированных профессий, предпочтению безопасности и стабильности ценностям роста [1, с. 9].

Для улучшения позиций, развития страны в глобальной экономике знаний, создания условий для опережающих темпов экономического роста авторы доклада [1] предлагают систему мер:

1. Создание конкурентного предложения условий труда для профессионалов категории «Знание» работодателями с государственным участием.
2. Сокращение неэффективной социальной занятости.
3. Создание государственной системы переквалификации высвобождаемых кадров с привлечением ключевых работодателей, государственных и негосударственных образовательных организаций.
4. Создание благоприятных условий для бизнеса.

5. Создание опережающего предложения кадров, обладающих целевыми компетенциями, со стороны системы образования.

6. Перенос фокуса образовательных программ с развития предметных знаний и запоминания информации на развитие личностных и метапредметных компетенций.

7. Стимулирование притока талантов в сферу образования.

8. Продвижение ценностей роста и профессионального развития на уровне страны и, в частности, внутри компаний.

2. Целевая модель компетенций 2025

Для формирования и обучения высококвалифицированных специалистов экономики знаний разработчиками доклада [1] была предложена целевая модель универсальных компетенций, представленная на рис. 1. Авторы подчёркивают, что данная модель компетенций основана на «подходах Библиотеки компетенций Lominger, Сбербанка, RosExpert/Korn Ferry, Высшей школы экономики, WorldSkills Russia и Global Education Futures» [1, с. 21], то есть *может рассматриваться как интеграция [2] существующих моделей компетенций.*



Рис. 1. Целевая модель компетенций 2025 [1, с. 20]

Представленные в модели компетенции требуются широкому кругу людей и являются универсальными [1, с. 21].

Универсальные компетенции в целевой модели компетенций BCG представлены тремя группами – когнитивными навыками, социально-поведенческими навыками, цифровыми навыками, – что иллюстрирует

неоднозначность терминологического аппарата в области новых компетенций и навыков [3, с. 37].

Группа когнитивных навыков включает подгруппы компетенций саморазвития, организованности, управления, достижения результатов, решения нестандартных задач, адаптивности. Группа социально-поведенческих навыков включает подгруппы компетенций коммуникации, межкультурного взаимодействия, а также межличностные навыки. Группа цифровых навыков включает две подгруппы – создания систем и управления информацией. Как показано на рис. 1, каждая подгруппа имеет дальнейшее внутреннее деление.

3. Совершенствование целевой модели компетенций 2025

На фоне широко представленных в модели компонентов когнитивных и социально-поведенческих навыков группа цифровых навыков целевой модели компетенций выглядит наименее проработанной. Имеет смысл реализация более широкой классификации цифровых компетенций в рассмотренной модели. Примерами подходов к такой классификации являются [4, 5].

4. Взаимосвязь целевой модели компетенций и модели «Умение», «Правило», «Знание»

Датский учёный Й. Расмуссен (J. Rasmussen) предложил модель для классификации выполняемых работниками задач [1, с. 14; 6]:

- Категория «Умение»: более половины задач повторяющиеся и типовые, преимущественно физический труд. Подготовка: быстрая или не требуется.
- Категория «Правило»: более половины задач являются технической рутинной работой, работа по инструкции, алгоритму. Требуется специализированная подготовка.
- Категория «Знание»: более половины задач имеет аналитический, творческий, импровизационный характер, реализуются в условиях неопределённости. Подготовка: длительная, высокий уровень образования, широкий кругозор.

Описанная модель классификации задач была применена авторами исследования [1] для соотнесения уровня развития универсальных компетенций характеру выполняемой работы (рис. 2).

По мнению авторов доклада «Россия 2025: от кадров к талантам», наиболее развитые компетенции работников категории «Умение» (то есть работников физического труда) – коммуникативные и межличностные. Работникам категории «Правило» дополнительно необходимы в первую очередь компетенции межкультурного взаимодействия и саморазвития. Наиболее квалифицированные

работники экономики знаний должны иметь высокий уровень всех представленных в модели компетенций. Авторы модели компетенций отмечают, что по состоянию на 2017 год в России насчитывалось лишь 17% работников категории «Знание». Примерами таких профессий являются научные работники, физики, химики, инженеры, руководители, врачи высокой квалификации, экономисты, юристы и другие высококвалифицированные специалисты [1, с. 28].

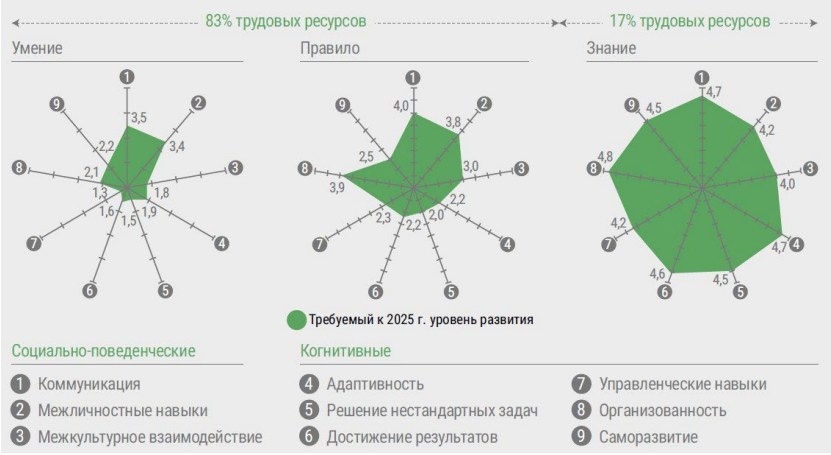


Рис. 2. Уровни развития компетенций для работников категорий «Умение», «Правило», «Знание» [1, с. 21]

Заключение

По состоянию на 2025 год доклад BCG «Россия 2025: от кадров к талантам» сохраняет свою актуальность. В статье рассмотрена предложенная авторами доклада целевая модель универсальных компетенций в её связи с региональным рынком труда и подходом Й. Расмуссена к классификации труда. Данная модель может рассматриваться как интеграция существующих моделей компетенций. Предложены пути совершенствования целевой модели компетенций путём осуществления более широкой классификации цифровых компетенций.

Список литературы

1. Бутенко, В. Россия 2025: от кадров к талантам / В. Бутенко [и др.]. – Москва: The Boston Consulting Group, 2017. – 70 с.

2. Омельченко, С. В. Понятие интеграции в педагогическом процессе / С. В. Омельченко // Вестник Южно-Уральского

государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. – 2006. – № 16. – С. 14-17. – EDN KZHQPB.

3. Зорина, Е. М. Метапредметная компетенция преподавателей и обучающихся: учебное пособие для вузов / Е. М. Зорина. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 130 с. – (Высшее образование). – Текст: непосредственный. ISBN 978-5-534-17997-2. – EDN WGGHBE.

4. Popov, V. S. Technological Component Of ICT Competency And Approaches To Determining Its Structure / V. S. Popov, L. A. Abrosimova-Romanova // In D. K. Bataev, S. A. Gapurov, A. D. Osmaev, V. K. Akaev, L. M. Idigova, M. R. Ovhadov, A. R. Salgiriev, & M. M. Betilmerzaeva (Eds.), Social and Cultural Transformations in the Context of Modern Globalism (SCTCMG 2023). European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. – 2024. – Vol. 134. P. 337-344. – DOI: 10.15405/epsbs.2024.10.43

5. Давыдов, С. Г. Цифровые компетенции россиян и работа на самоизоляции во время пандемии COVID-19 / С. Г. Давыдов // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. – 2021. – № 2(162). – С. 403-422. – DOI: 10.14515/monitoring.2021.2.1913. – EDN KRRVDS.

6. Rasmussen, J. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models / J. Rasmussen // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, May-June 1983. – Vol. SMC-13, № 3. – P. 257.266. – DOI: 10.1109/TSMC.1983.6313160

Содержание

Секция 1. Методы и технологии разработки программных систем

Борисов А. Д. Применение пространственных ограничений для нежесткой трехмерной регистрации лица 4
Бородин Д. В., Пруцков А. В. Методы поиска минимального числа преобразований массивов с использованием алгоритмов поиска в ширину и в глубину 10
Брязгин Г. К. Методика извлечения контуров зданий из офф-надир методами глубокого обучения 21
Воронежская Е. С., Михайлюк Е. А. Выбор программных решений и компьютерных моделей при разработке картографического приложения PhotoMap 32
Зезюков К. С., Воронина И. Е. Интеграция GPT в iOS-приложение «Органайзер» 37
Касьянов В. Н., Касьянова Е. В., Малышев А. А. Методы и средства построения специализированных версий универсальных Cloud Sisal программ 43
Махортов С. Д., Анохин Р. Б. Алгоритм вычисления массива граней с нечетким сопоставлением префикса и суффикса 53
Орлова А. К., Матвеева М. В. Разработка серверной части веб-приложения «Кулинарные рецепты» на платформе ASP.NET 69
Офицеров В. А., Нестеров Д. Н. Алгоритмизация процесса сжатия тестовых последовательностей, используемых в функциональном тестировании ПЛИС 77
Попова А. А., Матвеева М. В. Анализ приложений для проведения исследований потребностей клиентов 87
Савинков А. Ю. Универсальный переносимый драйвер нажимной кнопки для операционной системы FreeRTOS для реализации человеко-машинного интерфейса в устройствах на основе микроконтроллера 94
Скоморохов К. С., Матвеева М. В. Реализация настольного приложения для формирования документов 108
Флегель Д. А., Ефремов М. С. Разработка серверной части веб-приложения организатора встреч 116
Фролов Ю. А., Матвеева М. В. Проектирование приложения для изучения иностранных языков 123
Шмойлов Д. И., Тарасов В. С. Управление зависимостями в TCA-приложениях: практическое применение в мобильном решении для мониторинга состояния здоровья растений 131

Секция 2. Компьютерное моделирование в фундаментальных и прикладных исследованиях

Адамовский Е. Р., Чертков В. М., Богуш Р. П. Особенности построения и интеграции модулей обработки и прогнозирования данных для имитационной модели когнитивного радио.....140
Артемов М. А. Математическое моделирование вращающегося диска переменной толщины.....146
Артемов М. А., Верлин А. А. Математическое моделирование вращающегося полого диска с жестким внешним покрытием.....146
Башкарев В. А., Переселков С. А., Кузькин В. М., Переселков А. С. Результаты численного эксперимента по анализу зависимости структуры голограммы источника звука от частоты.....162
Беспалов С. В., Тищенко А. И. Моделирование влияния ветровой нагрузки на параметры полета беспилотного летательного аппарата коптерного типа.....170
Буховец А. Г., Семин Е. А. О форме кривой (динамической модели разностного индекса.....176
Вещеулова С. В., Разиньков С. Н., Вещеулов А. В. Анализ характеристик и применения авиационных преобразователей электроэнергии.....181
Воронов А. А., Молев А. А. Имитационное моделирование в среде Anylogic сети широкополосных радиорелейных радиостанций функционирующих в условиях помех.....188
Воронцов В. Ю., Бондарев В. Г., Лопаткин Д. В., Хахин К. И. Моделирование процесса конструирования генератора прецизионной частоты на базе программы SolidWorks.....198
Глушаков В. Е. Исследование модели передачи данных в сети Wi-Fi.....207
Грошев Н. С., Махно А. А. Оптимизация задачи обратного маятника бионическим алгоритмом.....214
Долгов А. А. Компьютерная модель формирования имитационной фоноцелевой обстановки в дальней инфракрасной области спектра.....222
Кабиров И. Р., Бондарев В. Г., Лопаткин Д. В., Монгуш Д. С. Имитационное моделирование юстировки и калибровки систем технического зрения в задачах навигации и управления.....232
Кирносов А. С., Гедзенко Д. В. Учет особенностей влияния многолетнемерзлого грунта на надежность и безопасность прокладываемых нефте- и газопроводов.....241

Кирносов С. Л., Шапошников М. И., Бадыгин А. Э. Факторизация пространства исходных метеопризнаков в задаче разработки прогнозов погоды....250
Козирацкий Ю. Л., Паринов М. Л., Петренков С. В. Моделирование угломерно-корреляционного поиска и координатометрии источников радиоизлучения на основе использования дискретных методов обработки....256
Козирацкий Ю. Л., Прохоров Д. В., Калинин В. С., Баркалов А. А. Компьютерная модель процесса наведения прибора в сложных метеоусловиях....265
Козирацкий Ю. Л., Прохоров Д. В., Лесняк А. А. Компьютерная модель процесса поиска беспилотного летательного аппарата на фоне ложных объектов....265
Крутских В. В. Моделирование лицевой мимики с помощью алгебраических инвариантов....281
Кузнецов И. Е., Шувакин Е. В. Технологии метеорологического обеспечения авиационной организационно-технической системы с использованием элементов искусственного интеллекта....288
Кургалин С. Д., Борзунов С. В., Гончарова Н. Ю., Батищева Г. А., Елисеева Д. М., Котлярова Д. К., Черенкова О. В., Улезько Т. А., Шевцов Р. С. Программа для коррекции режима дозирования препаратов при хронической болезни почек у пациентов с сахарным диабетом....296
Кургалин С. Д., Борзунов С. В., Петрищев К. О., Асеева А. А., Чуракова Т. А., Гончарова Н. Ю., Батищева Г. А., Перова Н. Н. Программа для регистрации нежелательных лекарственных реакций в медицинских организациях....302
Курлюков К. К., Семенов М. Е., Ножкин В. С. Феноменологические прогнозы метеорологических параметров в приземном слое атмосферы....307
Маслобойщиков А. Н., Веремьев Н. А., Потапов Н. С. Модель предварительного метеорологического прогноза при различной информационной обеспеченности....313
Можей Н. П. Применение систем компьютерной математики для исследования симметрических пространств с почти симплектической структурой....318
Равшанов Н., Набиева И. С. Математическая модель процесса диффузионного переноса аэрозольных примесей с учетом их физико-химических свойств и атмосферных условий....323
Негробова А. С. Математическое моделирование течений полимерных жидкостей в пористой среде....330

Переселков С. А., Кузькин В. М., Косенко И. М., Ладыкин Н. В. Результаты компьютерного моделирования разрешения голограмм источников в нерегулярном волноводе 343
Переселков С. А., Кузькин В. М., Косенко И. М., Ладыкин Н. В. Численное моделирование голограммы шумового источника, движущегося в береговом клине 351
Переселков С. А., Кузькин В. М., Ладыкин Н. В., Косенко И. М. Математическая модель голографической структуры высокочастотного источника на каналах векторно-скалярного приемника в мелком море 358
Попов М. И. О подходах к построению неявных конечно-разностных схем в задаче об изгибе прямоугольной пластины....368
Потапов А. Н., Кузнецов В. А., Бунин А. В. Проблемные вопросы функционирования и оценки эффективности методического и алгоритмического обеспечения системы поддержки принятия решений автоматизированной системы управления специального назначения 378
Потапов А. Н., Началов А. Л., Черный Н. А. Анализ требований потребителей к информации о воздушной обстановке, циркулирующей в сложной иерархической автоматизированной системе управления 393
Разиньков С. Н., Борисов Д. Н., Буслаев А. Б., Богословский А. В. Построение системы стабилизации антенной решетки с применением средств компьютерного моделирования....402
Самандаров Б. С. Постановка задачи прогнозирования потребностей крупного рогатого скота в кормах на основе исторических и текущих физиологических данных....409
Соловьев А. В., Черноиваненко К. С. Адаптированная графоаналитическая модель ветровой обстановки для северных регионов Российской Федерации 414
Соловьев А. В., Черноиваненко К. С. Регрессионное моделирование атмосферных процессов на основе дисконтирования данных 423
Соломатин Д. И., Артемов М. А. Компьютерное моделирование состояние цилиндрических тел при комбинированном воздействии 430
Тищенко А. И., Беспалов С. В. Математическая модель выбора способа применения беспилотных летательных аппаратов при ликвидации ледяных заторов на реках....437

Туровский Я. А., Борзунов С. В., Крупенин С. С. Структура информационной системы обратной связи для миоэлектрических протезов верхней конечности 444
Ульшин И. И., Семенов П. Д. Способ прогноза лесных пожаров с учетом метеорологических факторов 453
Фоменко Е. И., Оганесян П. А. Модуль топологической оптимизации для трехмерных тел с разбиением на тетраэдры и гексаэдры на основе метода конечных элементов..... 461
Шувакин Е. В., Балакин В. С., Шипко Ю. В. Автоматизированный расчет и отображение авиационно-климатического показателя степеней сложности погоды..... 468

Секция 3. Технологии обработки и защиты информации

Балакирев Н. Е., Коновалов К. А., Сергеев И. С. Методы реализации механизма индивидуализации для программных решений «Голосовая почта» и «Оптимизация объема акустической информации 476
Бережнов Н. И. Модификации механизмов внимания в моделях-трансформерах в задаче восстановления изображений..... 483
Будников С. А., Бузуев И. А., Суховерхов А. С. Модель реализации угроз безопасности на основе уязвимостей веб-интерфейсов (типа «SQL Injection) 492
Вялых С. А., Ульянов В. А. Актуальные вопросы технической защиты информации в государственных информационных системах регионального уровня 501
Глобин Ю. О. Подход к обеспечению целостности данных, хранящихся в территориально распределенных хранилищах 511
Гостев З. С., Сирота А. А. Вычисление яркостных, цветовых и текстурных признаковых карт для решения задачи нахождения контуров на изображении..... 519
Евстафиев А. Ф., Евстафиев Ф. А. Оптимизация частотного спектра сигнала системы связи в условиях узкополосных помех и флуктуационного шума 527
Жуков Д. В., Акимцев А. А., Чернышева Т. Ю. Выявление фейковых новостей на русском языке с использованием предобученных трансформеров..... 536
Захарченко Д. Д., Балакирев Н. Е., Фадеев М. М. Использование анализатора волн и методики извлечения информационного содержания для анализа сейсмических волн..... 545

Зюзин А. А., Швырева А. В. Использование метода prompt engineering для создания корпоративных интеллектуальных ассистентов на основе готовых языковых моделей 550
Каладзе В. А., Косинов Е. Э. Нейросетевой обработчик цифровых аудиозаписей оркестровки базовой темы музыкальной пьесы 557
Кирсанов Э. А., Рудковский В. Д. Программная реализация нейросетевого алгоритма автоматического определения вида модуляции сигнала с использованием библиотеки alglib 563
Клименко Ю. А., Преображенский А. П., Лазутин А. В. Распознавание образов кривой провисания провода линии электропередачи на цифровых изображениях 571
Колпаков Н. С., Иванков А. Ю. Обучение нейросетевой модели для классификации текста с признаками информации ограниченного доступа 577
Лукинских С. П., Королев Н. В., Головинский П. А. Резервуар для экстремального обучения на основе оптически неоднородных сред 584
Паламарь И. Н., Гагарина А. И. Метод мультимодального обогащения данных для генеративного моделирования поверхностного слоя материала детали 591
Попов Е. В., Юрченко П. В. Распознавание изображений природных объектов на спутниковых снимках 598
Равшанов Н., Ахмедов Д. Д., Пекось О. А. Нейросетевая модель для прогнозирования развития осложнений и летальности при инфаркте миокарда 603
Родионов А. О., Родионова С. В., Юрченко Т. В. Выявление зарослей вредоносных растений с использованием методов машинного обучения 614
Руденко А. В., Руденко М. А., Каширина И. Л. Сравнительный анализ подходов к сегментации медицинских изображений на основе КТ внутренних органов человека 621
Селиверстов Н. А., Сирота А. А. Использование алгоритма моделирования частотных полос для решения задачи разделения музыкального аудиосигнала 629
Фадеев М. М., Балакирев Н. Е., Швецов И. А., Шлапаков Е. В. Выполнение эксперимента как последовательности шагов по анализу и синтезу данных 639

Секция 4. Информационные системы и базы данных

Катасонова Г. Р., Карпова Т. С. Методика разработки прикладных решений для специалистов логистической сферы 647

Кирпичёв И. И., Матвеева М. В. Анализ решений для облачного хранения данных 651
Малышев В. В., Толстобров А. П. Разработка сервиса анонимного голосования для образовательной платформы LMS Moodle 658
Толстобров А. П. Оценивание качества электронных курсов в LMS Moodle 665

Секция 5. Прикладное моделирование и E-business

Nguyen M. H., Pavlovich T. V. Application of machine learning models, optimization tasks and algorithms to design Intelligent Information Systems 674
Анфёров М. А. Оптимизация технологических размерных структур в условиях неопределенности 686
Арапов Д. В., Скрыпников А. А. Нейросетевое моделирование таксационных показателей лесных древостоев сосны и лиственницы 693
Бурзунов Д. Д., Тимошин М. В., Арапов Д. В. Об одном подходе оценки ущерба организации при страховании от рисков 699
Бутовецкая С. И., Копытина Е. А. Разработка системы генерации документов, сопутствующих процессу ГИА ФГБОУ ВО «Воронежского государственного университета 705
Бутрин А. В. Выбор архитектуры нейросетевого аппроксиматора для метода последовательных приближений 712
Воротилова М. Ю., Булыгина О. В., Окунев Б. В. Система поддержки принятия решений для подбора элементов оборудования технологической линии переработки рудного сырья на основе метаэвристик 722
Денисов К. Р., Копытина Е. А. Разработка системы автоматизации внутренних бизнес-процессов предприятия с использованием Telegram-бота 733
Джаббаров Р. Р., Копытина Е. А. Разработка веб-приложения для автоматизации управления малым предприятием с интеграцией телеграм-бота 737
Донских Д. П., Матвеев М. Г., Воронцов Я. А. Разработка нечеткого ПИД регулятора 743
Зацаринный А. А. Об актуальности комплексного моделирования процессов создания информационно-управляющих систем 750
Зацаринный А. А., Меденников В. И. О подходах к внедрению сервисной модели общественных отношений на основе цифровых технологий 756

Иванов Д. А. Модели управления зонами покрытия спутниковой связи для Интернета вещей 764
Илларионов И. В., Богданова Н. С., Ребрикова Ю. А. Мониторинг кредиторской задолжности в SAP S/4 HANA 770
Илларионов И. В., Богданова Н. С., Черенкова Ю. С. Интеграция платформы SAP Hybris с SAP MDG 780
Илларионов И. В., Пирагов А. П. Обеспечение ссылочной целостности в SAP S/4 HANA 790
Каладзе В. А., Шаповалов Н. А. Реализация статистического решения СЛАУ 798
Калач А. В., Ковальчук А. А., Ряжских В. И. Математическая модель прогнозирования преступлений в краткосрочной перспективе 806
Копытин А. В., Копытина Е. А. Нейронный ансамбль мягких решающих деревьев 813
Коротков В. В., Легостаев Н. А. Задача автоматического построения календарно-постановочного плана съемок 821
Крайнова О. А. Реализация двухфакторного ABC-анализа в управленческом учете интернет магазина 827
Кукарских Л. А. К вопросу о распространении продольных волн в насыщенной жидкостью и газом пористой среде 837
Матвеев М. Г., Алейникова Н. А., Громковский А. А., Богданова Н. С. Применение w-алгебры для решения задач нечеткой линейной парной регрессии 844
Матвеев М. Г., Лоскутова А. Е., Алейникова Н. А. Оценка успеваемости учащегося, как реализации случайного процесса с помощью дискретных цепей Маркова с нечеткими состояниями 854
Матвеев М. Г., Рудаков Е. В. Поведение стационарной точки как индикатор поведения временного ряда 866
Матвеев М. Г., Сирота Е. А. Разработка и исследование подходов к моделированию временных рядов с изменяющимися свойствами 877
Меньших В. В., Никитенко А. Н. Теоретико-игровая модель управления мультиагентным роем беспилотных летательных аппаратов 890
Минаков А. В., Минаков В. Ф., Пушкарев Д. И. Риск-менеджмент в проектном управлении 896
Филонов П. О., Копытина Е. А. Расширение фреймворка «теслер» для разработки web-сервиса для автоматизации работы отдела интеллектуальной собственности ФГБОУ ВО «ВГУ 902

Секция 6. Интеллектуальные информационные системы, компьютерная лингвистика, технологии информационного поиска

Бабкина Е. А., Гаршина В. В. Галлюцинации в больших языковых моделях (LLM) и методы их компенсации 910
Госкаев М. Д., Гриф М. Г. Разработка алгоритма преобразования движений человека с видео в анимации для системы перевода русского текста на русский жестовый язык 916
Зубарева В. Н., Булыгина О. В., Окунев Б. В. Применение алгоритма нечеткого случайного леса для классификации причин возвратов товара 922
Константинов Д. С., Гриф М. Г., Королькова О. О. Анализ методов распознавания маусинга в русском жестовом языке 932
Лаптев М. В., Котельников Е. В. Автоматическая идентификация таблиц в неструктурированных PDF-файлах 938
Нсилулу С. Н., Каширина И. Л. Сравнение моделей машинного обучения для обнаружения токсичных комментариев на русском языке 948
Пименов В. И., Прохорова А. А., Пименов И. В. Технологии искусственного интеллекта в креативных индустриях 954
Полицына Е. В., Полицын С. А., Поречный А. С., Рыкунов А. Н. Развитие инструментов фреймворка TAWT для работы с текстами на русском языке 964
Сабуров В. С., Фадеев Р. В., Диченко С. А. Прогнозирование отказов жестких дисков с использованием методов машинного обучения 974
Скопин Е. С. Управляемая генерация и анализ кода на основе больших языковых моделей 983
Смотрова К. В., Гаршина В. В. Возможности применения технологии поисковой расширенной генерации RAG (Retrieval Augmented Generation) в разработке систем поддержки принятия решений 990
Солодовникова Я. В., Гаршина В. В. Обзор методов и подходов для обучения агентов в мультиагентных системах 995
Сычев А. В. Анализ тематической структуры коллекции статей научной конференции 1001
Ушакова А. А., Гаршина В. В. Обзор методов дополненной генерации текста (Retrieval-Augmented Generation) 1011
Экерт Н. А., Воронина И. Е. Разработка алгоритма наименования кластеров при автоматизированном формировании критериев оценивания на программный продукт 1020

Секция 7. Суперкомпьютерные вычисления и BigData. Квантовые информационные системы

Коваль А. С. Опыт создания дата-центра на основе РЕД Виртуализации 1029
Петрищев К. О., Романов А. В. Влияние оптимизации операционной системы на скорость вычислений в математических пакетах на примере openSUSE и Clear Linux 1034

Секция 8. САПР и цифровые технологии

Камушкина Д. П., Сокольников В. В. Построение типовых элементов в КОМПАС 3д с помощью API 1043
Кукушкин В. В., Бредихин А. В., Шевченко К. С. Преимущества и ограничения автоматизированных систем поддержки принятия решений: сравнение возможностей человека и машин 1051
Мизерий Д. А., Алексашин А. А., Сокольников В. В. Применение САПР для автоматизированного проектирования и стандартизации документации 1057
Миркутов Д. И., Ремнева С. А., Надеждин В. В. Разработка приложения просмотра и редактирования конструктивной электронной структуры изделия в формате STEP-JSON 1065
Суедов В. А., Сокольников В. В. Применение современных нейросетей для генерации 3D моделей в САПР Компас 3D 1073
Юров А. Н., Ветохин В. В., Чижов М. И. Разработка кроссплатформенных модулей прототипа САПР 1081

Секция 9. Инфокоммуникационные системы, системы телекоммуникаций, радиоэлектроника, обработка сигналов

Богословский А. В., Евсеев А. В., Разиньков С. Н., Савченко А. В. Электродинамическая модель дисковой антенны при несимметричном расположении на плоском прямоугольном экране 1090
Борисов Д. Н., Семечев Д. А. Использование фазовой коррекции для устранения искажений сигнала в алгоритме демодуляции MMSE-SIC для систем MIMO 1096
Быченко Д. А., Самодуров С. А. Разработка программного обеспечения для фазированной антенной решетки 1103
Величкина А. С., Кононов А. А., Усков Г. К. Вычислительная реализация анализа переходных процессов в диоде с накоплением заряда 1110

Кононов А. А., Усков Г. К. Аналитическая модель малогабаритного зонда для измерений электромагнитного поля 1120
Мосолов А. О., Савинков А. Ю. Оптимизация маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях с учётом остаточного заряда батареи и качества канала связи 1128
Пешков И. В. Моделирование трассировки распространения радиоволн коротковолнового диапазона в простой двумерной изотропной модели ионосферы 1134
Разиньков С. Н., Кныш М. В., Разинькова О. Э. Перспективы применения технологий радиофотоники в автоматизированных системах управления 1140
Резниченко А. А., Журавлёв Д. В. Математические и статистические методы обработки сигналов ЭЭГ, применяемые в компьютерном анализе 1146
Смирнов Д. В., Донцов А. А. Оценка вероятности правильного обнаружения факта атаки летательного аппарата при двухпозиционной пассивной координатометрии 1154
Соколов В. А., Савинков А. Ю. Методы оптимизации энергопотребления в беспроводной сети сбора данных 1163
Чичканов А. С., Богословский Е. А. Способ реализации высвобождаемого частотного ресурса в системе связи беспилотный летательный аппарат – наземный пункт управления 1169
Чёнгин А. В., Козирацкий А. Ю., Козирацкий А. А. Способ пространственного сложения электромагнитных излучений когерентных источников 1177

ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ «ИНФОРМАТИКА В ОБРАЗОВАНИИ»

Секция 1. Методика преподавания информатики

Кулаков Ю. В. Машина Тьюринга для решения олимпиадной задачи по информатике «Лягушачьи игры» 1187
Мосягин А. Б. Концептуальная методика преподавания основных понятий информационных технологий 1197
Старикова М. Е. Технология обучения в сотрудничестве на уроках информатики 1201

Секция 2. ЕГЭ по информатике

Алефиренко Е. А. Информатика: решение задания высокого уровня сложности на рекурсивную функцию 1206
Алефиренко Е. А. Распределительный закон алгебры логики при аналитическом решении задания 2 КЕГЭ по информатике 1212
Зуева И. Ю. Логические ошибки на ЕГЭ 1218
Черницына Л. Ю. Многозадачность: задание 22 демонстрационного варианта ЕГЭ по информатике 2025 года 1222

Секция 3. Искусственный интеллект в образовании

Гребенюк Е. Ф. Формирование метапредметных компетенций на уроках истории и обществознания с использованием информационных ресурсов и ИИ 1228
Ряполов С. П., Толстобров А. П., Протасова И. В. Перспективы использования искусственного интеллекта для проверки работ студентов в Воронежском государственном университете 1231
Трунова О. В. Искусственный интеллект – мощный инструмент для оптимизации и улучшения качества образовательного процесса 1236
Уваров А. В., Михайлюк Е. А. Дистанционное обучение для детей с ДЦП: преимущества, недостатки и перспектива развития 1242
Ушакова Т. А., Гречишникова Н. А. Искусственный интеллект в образовании: интеграция языков и информационных технологий 1248

Секция 4. Подготовка ИТ-инженеров для решения задач цифровизации промышленности и бизнеса

Хлебостроев В. Г. Методическая роль дисциплины «Технологии и методы программирования» 1254

Секция 5. Компьютерное моделирование в образовании

Беляев А. Е., Беляева М. М. Изучение 3D-моделирования в концепции целостной системы образования «школа – ВУЗ – индустриальный партнер» 1260
Каримов А. З. К содержанию практических занятий по модулю «Системы поддержки принятия решений» учебной дисциплины «Информационные технологии в управлении»..... 1270
Пустовалова О. Г. О некоторых модельных задачах теплопроводности для стержней в конечно-элементном пакете FlexPDE для курса «Математические модели естественных наук» 1275

Секция 6. Электронное обучение и дистанционные образовательные технологии

Иванова О. В. Использование средств визуализации при обучении в контексте цифровизации высшего образования..... 1282
Измайлова А. М., Селиванова Е. В. Социальные сети как дистанционные образовательные технологии..... 1291
Касьянов В. Н., Касьянова Е. В. Методы и системы поддержки применения теоретико-графовых методов в информатике и программировании..... 1295
Копалиани Л. Н. «Библиотека ЦОК» как эффективный инструмент повышения качества знаний по предмету..... 1303
Кузьмина О. Е. Цифровой психолог»: опыт использования дистанционных технологий в работе школьного психолога..... 1307
Можей Н. П., Шинкевич Е. А. Подготовка ИТ-инженеров с применением электронных образовательных ресурсов 1313
Протасова И. В., Дождёв Н. С., Семенихина А. В., Толстобров А. П., Ряполов С. П. Система дистанционного образования СЭО 3KL как средство поддержки реализации образовательного процесса..... 1318

Секция 7. Переход на профессиональные стандарты: требования к IT-компетенциям

Калинина Т. О., Добрикова С. О., Вострикова Т. В. Формирование компьютерной грамотности учащихся на уроках математики 1325
Попов В. С., Абросимова-Романова Л. А. Целевая модель универсальных компетенций доклада «Россия 2025: от кадров к талантам»..... 1333

Научное издание

Информатика: проблемы, методы, технологии

Материалы
XXV Международной научно-практической конференции

Воронеж,
12-13 февраля 2025 г.

Под общей редакцией Д. Н. Борисова

Издано в авторской редакции

Редакционная коллегия

Главный редактор:

Борисов Дмитрий Николаевич

Члены редакционной коллегии:

1 секция	Махортов Сергей Дмитриевич Нужных Алексей Васильевич
2 секция	Семенов Михаил Евгеньевич Толкачев Аким Владимирович
3 секция	Сирота Александр Анатольевич Швырева Анна Владимировна
4 секция	Ермаков Михаил Викторович
5 секция	Матвеев Михаил Григорьевич Копытин Алексей Вячеславович
6 секция	Гаршина Вероника Викторовна Сычев Александр Васильевич
7 секция	Кургалин Сергей Дмитриевич Борзунов Сергей Викторович
8 секция	Чижов Михаил Иванович
9 секция	Усков Григорий Константинович Попова Александра Евгеньевна
	Школа-конференция
1-5 секции	Крыловецкий Александр Абрамович Атанов Артем Викторович
6 секция	Толстобров Александр Павлович
7 секция	Крыловецкий Александр Абрамович Атанов Артем Викторович