Решение задач оптимизации размещения сети учреждений и объектов обслуживания методом случайного поиска

Э. Б. Халтурсунов, E-mail: 7-lucky@mail.ru

Туринский политехнический университет в г.Ташкенте, Узбекистан

Аннотация. *Приводится описание метода и алгоритма случайного поиска для решения задач оптимизации размещения учреждений и объектов обслуживания.*

Ключевые слова. *метод, алгоритм, случайный поиск, параметры, многопараметрические, многоэкстремальные, системы, задача, одноуровневый, многоуровневый, оптимизация, учреждения обслуживания, объекты обслуживания, математические модели, критерии, ограничения, Монте-Карло.*

Введение

Оптимизация сети учреждений и объектов обслуживания – это сложная система, отраслевая, градостроительная и социально-экономическая проблема. Ее достижение возможно только на базе математического моделирования и применения эффективных методов оптимизации, формализации и учета в моделях основных факторов и специфики функционирования рассматриваемых объектов и учреждений.

Структура и состав учреждений и предприятий сети общественного обслуживания определяется спецификой данного вида обслуживания, требованиями развития системы в целом, специфическими особенностями быта местного населения, величиной и архитектурно-планировочной структурой населенных мест.

Сети учреждений обслуживания по специфике функционирования подразделяются на: одноуровневого обслуживания; многоуровневого обслуживания.

К сетям одноуровневого обслуживания относится широкий класс учреждений и объектов обслуживания. Например, в здравоохранении – аптеки, многопрофильные больницы, поликлиники, объекты технического обслуживания – газораспределительные станции и газораспределительные пункты, котельные, временные здания и сооружения на стройплощадке, здания и сооружения железнодорожных станции, многоэтажные гаражи (автостоянки), торговые предприятия и т.д.

К сетям многоуровневого обслуживания относятся следующие учреждения: поликлиники, многопрофильные больницы, сельские школы и т.д.

Хотя при проектировании сетей учреждений обслуживания (УО) решаются однотипные задачи, но из-за необходимости учета специфики и функционирования, не удается свести их к одной или ряду математических моделей.

На базе изучения процессов функционирования исследуемых сетей УО (многоуровневые амбулаторно-поликлинические и школьные сети сельских районов; одноуровневые – сеть многоэтажных гаражей индивидуального автотранспорта, сеть автозаправочных станций, сеть аптечных учреждений нового типа – магазины "Универфарма") предложен математический аппарат генерации вариантов организации сетей УО, который реализуется триединой задачей (определение оптимального количества, мест размещения, зон обслуживания и мощности УО на каждом уровне обслуживания), характерной для данного класса задач. Хотя он различен в зависимости от рассматриваемого УО (алгоритм определения наименьшего внешне устойчивого множества графа, симплекс-метод линейного программирования, метод целочисленного случайного поиска, метод потенциалов и др.), однако во всех случаях стержневым является алгоритм определения наименьшего внешне устойчивого множества графа и метод целочисленного случайного поиска, модификации которых разработаны применительно к данному классу задач.

Постановка задачи и ее реализация

В общем случае задача размещения сети УО сводится к следующему: необходимо определить их оптимальное количество на каждом уровне обслуживания, зоны обслуживания и мощность (пропускную способность и места размещения).

Решение задачи оптимизации УО, к примеру, организации и размещения некоторых сетей УО в застройке города относятся к задачам оптимизации многопараметрических многоэкстремальных систем. В зависимости от постановки задач оптимизируемые параметры $X_j^M \; Y_j^M$ должны быть целочисленными или вещественными (в нашем случае вещественны).

<u>Локальный поиск.</u> Область, в которой производится минимизация (или максимизация) целевой функции, в наиболее распространенном случае является n – мерным гиперпараллепипедом:

$$\alpha_{\min} \le X_i \le \alpha_{\max} \qquad i = \overline{1, n},$$

где $\alpha_{\min}$, $\alpha_{\max}$ - нижние и верхние границы оптимипараметров.

Поиск экстремумов в такой области наиболее легок ввиду простоты учета ограничений.

Рассмотрим метод случайного поиска с самообучением. Кроме необходимости существования в изучаемой области локального экстремума, на котором отыскивается оптимальное значение, примененный алгоритм не предъявляет существенных требований к виду множества параметров и зависимостей, связывающих выбираемые параметры X_i с оптимизируемым критерием **Ф** и ограничениями (1), (2)-(5) модели.

$$\left.\begin{aligned} & X_j^n\, Y_j^n \in \theta \\ & X_j^n\, Y_j^n \notin \overline{\theta}, \ j = \overline{1, m} \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

Критерием модели служит штрафная функция

$$\min \ \Phi = k \sum_{j=1}^{m} V_j^1 + \sum_{j=1}^{m} V_j^2, \tag{2}$$

где V_j^1 – штраф за отклонение количества потребителей в зоне обслуживания учреждений от норматива;

V_j^2 – штраф за отклонение места размещения учреждения от центра зоны ее обслуживания.

Ограничения модели следующие:

– на количество потребителей в зоне обслуживания каждого учреждения

$$Q_н \le N_j \le Q_в, \quad j = \overline{1, m}, \tag{3}$$

где N_j – расчетное количество потребителей в зоне обслуживания $j-го$ учреждения ($N_j = \sum_{i=1}^{n} N_{i\,авт} \cdot X_{ij}$, $j = \overline{1, m}$);

– каждый микрорайон прикрепляется для обслуживания к ближайшему учреждению

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \ если \ \ i - й \ микрорайон \ прикрепляется \ к \ j - ому \ учреждению, \\ 0 \ в \ противном \ случае; \end{cases} \tag{4}$$

– каждый микрорайон города, по плану, должен обслуживаться одним учреждением

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}, \qquad (5)$$

а также ограничения (1).

Основные параметры могут в различной степени влиять на величину критерия **Ф**. Так как отыскание оптимальных значений параметров, слабо влияющих на **Ф**, может оказаться затруднительным, в принятом оптимизаторе предлагается провести некоторое выравнивание степени влияния этой информации на критерий. Для этого,- пространство физических параметров **X** заменяется пространством безразмерных параметров **X** с помощью линейного соотношения

$$X_j = \alpha_j X_j + b_j,$$

где α_j – индивидуальные масштабы;

b_j – заданные константы.

Исходное распределение поисковых векторов в данном алгоритме обеспечивает равную вероятность перемещения объектов в любом направлении. Приращения параметров в виде независимых случайных чисел λ распределяются по нормальному закону.

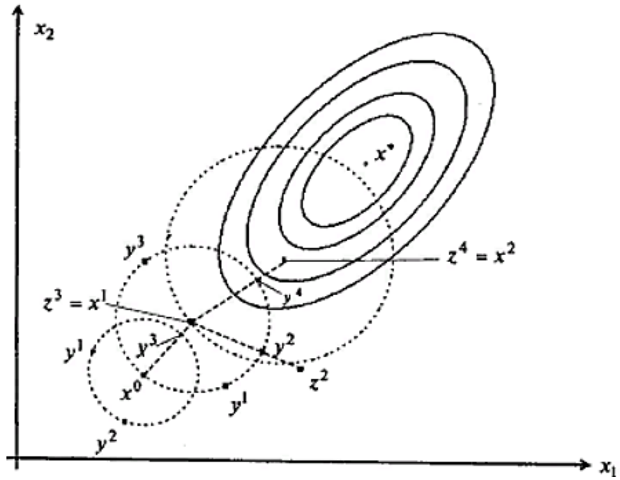

Рис. 1. Гиперсфера полученная в результате применения метода целочисленного случайного поиска

Таким образом, от точки X_i в которой определено значение критерия качества Φ_i, производится случайный шаг по всем координатам одновременно (рис.1)

$$X_{i+1,\,j} = X_{ij} + \lambda_{i+1,\,j},$$

и в полученной новой точке X_{i+1} определяется новое значение критерия Φ_{i+1}. Если оно окажется худшим, попытка считается неудачной, точка X_{i+1} отбрасывается и новый шаг совершается от прежней точки X_i.

Алгоритм оптимизации не будет достаточно эффективным без соответствующего масштабирования. Однако введение некоторого постоянного масштабного коэффициента приводит к тому, что на большом удалении от искомой точки текущая точка движется относительно медленно, и отыскание рационального варианта с высокой точностью оказывается неосуществленным. В [1] было предложено введение автоматически изменяющегося масштаба поиска для того чтобы на значительном расстоянии от оптимума шаг поиска увеличивался, а по мере приближения к нему уменьшался. В этом случае общая формула приращений по координатам принимает следующий вид

$$X_{ij} = X_{i-1,\,j} + M_i \Delta_{ij},$$

где M_i - общий для всех координат масштаб поиска;

Δ_{ij} - приращение.

Величина масштаба поиска выбирается соответствующей соотношению количеств удачных и неудачных попыток. Масштаб поиска увеличивается умножением на коэффициент роста d_1:

$$M_i = M_{i-1} d_1,$$

а уменьшается делением на коэффициент сброса d_2:

$$M_i = \frac{M_{i-1}}{d_2}.$$

Для устойчивости поиска необходимо, чтобы

$$d_1 \geq d_2 \geq 1.$$

Этот алгоритм работает следующим образом. Пусть при начальном состоянии в памяти имеется Φ_0. Работа алгоритма начинается с определения функции качества Φ при состоянии X_i. Полученное значение сравнивается со значением Φ_0, хранимым в памяти ЭВМ, и запоминается.

Если $\Delta\Phi = \Phi - \Phi_0 < 0$, то есть функция качества уменьшилась по сравнению со значением, хранящимся в памяти, то следует обратиться к оператору самообучения, запоминающему компоненты функции качества.

Оператор осуществляет выбор случайного шага λ и решает вопросы масштабирования. При $\Delta\Phi \geq 0$, т.е. если функция качества не уменьшилась по сравнению с хранящимся в памяти значением, делается следующий шаг и т.д. Если же и эта попытка не удачна, то векторы поворачиваются на случайный угол и шаг делается на этом вновь полученном направлении вектора.

При нарушении ограничений поисковой точкой используются алгоритмы «отражения», возвращающие ее от стенки гиперпараллепипеда внутрь области поиска.

Выше была рассмотрена методика определения Φ^* (экстремума Φ) с единственным локальным экстремумом. Однако возможны случаи, когда функция качества $\Phi(x)$ состоит из ряда локальных экстремумов. Тогда необходимо решать многоэкстремальную задачу – найти абсолютный минимум без перебора локальных.

Задача называется многоэкстремальной, если в n – мерном евклидовом пространстве, ограниченном областью ξ, функция $\Phi(x)$ в точке X* имеет абсолютный минимум, т.е.

$$\Phi(x^*) = \min_{x \in \xi} \Phi(x).$$

Два локальных минимума с одинаковыми значениями целевой функции принимаются эквивалентными. Задача будет многоэкстремальной только тогда, когда существуют несколько неэквивалентных локальных минимумов.

Нахождение абсолютного минимума в многоэкстремальных задачах представляет большую трудность. Решение не облегчается от сокращения числа сопоставляемых вариантов, например, от 10^{30} до 10^{20}, т.е. в 10^{10} раз. В настоящее время для решения таких задач пользуются приближенными методами, с помощью которых находятся близкие к абсолютному минимуму варианты. Разработан также ряд алгоритмов, основанных на переборе локальных экстремумов.

Глобальный поиск. Обеспечивается синтезом алгоритма Монте-Карло [2] и алгоритма локального поиска. Первый определяет начальные точки поиска (равномерно расположенные в области ξ), а второй производит поиск локальных экстремумов из указанных точек.

После определения локального экстремума все параметры его запоминаются, а из X* описывается «запретная зона» радиусом R. Затем методом Монте-Карло ищется новая начальная точка, удовлетворяющая всем ограничениям и не попавшая в «запретные зоны», из которой производится поиск нового локального экстремума. Если при поиске система наткнулась на «запретную зону», то радиус последней увеличивается на величину ΔR .

Таким образом, по мере протекания поиска происходит постепенное разрастание «запретных зон», которые при этом выводят из рассмотрения неперспективные части области поиска. Это приводит к уменьшению затрат машинного времени на глобальный поиск.

Заключение

Реализация и решение задач оптимизации размещения некоторых сетей учреждений и объектов обслуживания как в городской, так и в сельской местности (сети АЗС [3], школьная сеть [4], сеть медицинских учреждений и т.п. [5-7]) методом целочисленного случайного поиска показала свою высокую эффективность.

В исследуемых сетях УО особенной выделяется задача оптимизации сети магазинов "Универфарма" [8]. Здесь по экономическим соображениям в зоне обслуживания магазина должно проживать население не менее наперед заданного числа. Поэтому, необходимое их количество определяется численностью населения города (крупного). Их необходимо оптимально разместить на территории существующего города, что создает ряд проблем алгоритмического и вычислительного характера.

Основные теоретические предпосылки исследования, работоспособность и технологическая рациональность разработанного математического и программного обеспечения подтверждены результатами реализованных задач на конкретных материалах, актами внедрения и авторскими свидетельствами Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Результаты исследования являются основой объектно-ориентированной инструментальной системы проектировщика сетей УО.

Литература

1. Гайдуков А.Л. Применение случайного поиска при оптимальном проектировании. // - В кн.: Прикладные задачи технической кибернетики. – М.: Советское радио, 1966. – С. 420-435.

2. Пискорский Л.Ф. Алгоритмы ГП-2 и ГП-3 глобальной оптимизации многопараметрических функций методом случайного поиска. / Сб.науч.тр. ИК с ВЦ АН УзССР «Вопросы вычислительной и прикладной математики». – Ташкент, вып. 20. – С. 38-43.

3. Халтурсунов Э.Б. Оптимизация сети многоэтажных гаражей и АЗС в застройке города. Анализ. Концепция. Методы. / Монография, Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, DE, 2011, - 160 с.

4. Халтурсунов Э.Б. Моделирование и оптимизация организации школьной сети. Анализ. Генерация. Оценка. // Монография, Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, DE, 2012, - 176 с.

5. Халтурсунов Э.Б. Оптимизация размещения амбулаторно-поликлинической сети. / Монография, Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, DE, 2018, - 169 с.

6. Халтурсунов Э.Б. Оптимизация размещения инновационной аптечной сети "Универфарма". / Монография, Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, DE, 2019, - 91 с.

7. Халтурсунов Э.Б. Оптимизация размещения сети многопрофильных больниц. Анализ. Развитие. Реконструкция. Проектирование. / Монография, Изд-во LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, DE, 2021, - 106 с.