

# Применение алгоритма MSI для распознавания когнитивного вызванного потенциала P300

А. А. Вахтин<sup>1</sup>, email: alvahtin@gmail.com  
Я. А. Туровский<sup>1,2</sup>, email: yaroslav\_turovsk@mail.ru

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет,  
факультет компьютерных наук

<sup>2</sup>Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН

**Аннотация.** В данной работе рассматривается применение алгоритма Multivariate Synchronization Index (MSI) для распознавания вызванного потенциала P300 в задачах нейрокомпьютерного интерфейса.

**Ключевые слова:** анализ MSI, вызванный потенциал P300, нейрокомпьютерный интерфейс.

## Введение

В некоторых системах нейрокомпьютерных интерфейсов управление осуществляется с помощью когнитивного вызванного потенциала P300. Это электрофизиологический сигнал, возникающий в коре головного мозга как ответ на неожиданные или когнитивные значимые стимулы [1, 2]. Из рис. 1 видно, что P300 выделяется в диапазоне 250-500 мс с момента стимуляции.

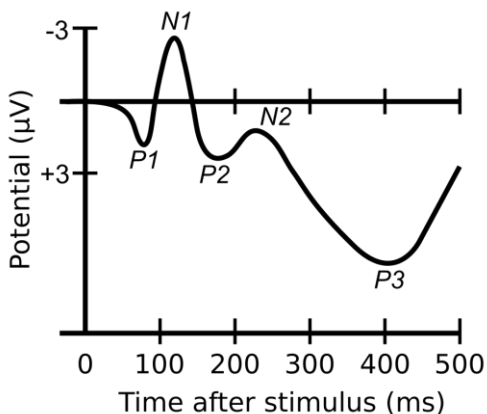


Рис. 1. Форма сигнала, с компонентами потенциалов, связанных с событиями, P300 помечен как P3.

Принцип реализации нейрокомпьютерного интерфейса на основе потенциала P300 заключается в следующем: организуется сетка попеременно активирующихся стимулов, испытуемый должен считать, когда срабатывает актуальный для него символ. Таким образом, после срабатывания стимула, фиксируется сигнал ЭЭГ, а затем нужно распознать, где именно проявляется потенциал P300, что будет соответствовать выбранному символу, за которым может быть команда, или набор текста.

Сложность реализации данного подхода связана с тем, что снимаемый сигнал ЭЭГ зачастую зашумлён, и потенциалы P300 не всегда совпадают по форме и времени для разных пользователей, разных каналов, и даже разных состояний оператора. Поэтому существующие реализации нейрокомпьютерных интерфейсов на основе потенциала P300 имеют погрешности в работе, которые компенсируются, например, дублированием команды, что, соответственно, увеличивает задержку команды в два раза.

Кроме того, наиболее эффективными себя показали методы распознавания периодических сигналов, основанные на частотном анализе [3, 4], а потенциал P300, как видно из рисунка 1, больше похож на функцию Гаусса и методы его анализа связаны с исследованием не частотного, а временного домена.

Авторами был разработан метод перехода от стандартного представления потенциала P300 к периодической форме, что позволило использовать метод частотного анализа, а значит, повысить точность работы нейрокомпьютерного интерфейса.

## **1. Определение потенциала P300 с помощью алгоритма MSI**

Алгоритм Multivariate Synchronization Index (MSI) [4, 5] является, по сути, развитием методов канонического корреляционного анализа. Суть данного алгоритма заключается в сравнении сигнала с эталонными и получение индекса того эталона, к которому ближе всего сигнал.

Для использования алгоритма MSI в нейрокомпьютерном интерфейсе, основанном на когнитивном вызванном потенциале P300, авторами предложено следующее:

1. Перед началом работы с испытуемого снимается когнитивный вызванный потенциал P300, который затем используется для формирования эталонных сигналов.

2. Определяется длина сигналов  $L$ , которые будут использоваться в работе алгоритма MSI, в несколько раз больше, чем длина сигнала P300.

3. Для каждого символа в матрице нейрокомпьютерного интерфейса задаётся эталонный сигнал путём сложения полученного в

п. 1 сигнала P300 с заданным смещением  $n_i$ , где  $i$  – индекс символа, и все  $n_i > 0$  уникальны, и не должны быть кратными. Таким образом, для получения эталонного сигнала нужно будет провести  $L / n_i$  сложений сигналов P300 со смещением на каждой итерации на  $n_i$ . Соответственно, при сложении, предполагается, что вне границ диапазона P300 сигнал нулевой.

4. После того как были накоплены сигналы в процессе моргания символов, для каждого сигнала выполняются такие же, как и в п. 3 сложения с заданным смещением  $n_i$ , где  $i$  – индекс символа и, соответственно, сигнала.

5. Выполняется сравнение сигналов, полученных в п. 4 с эталонными, полученными в п. 3 по методу, предложенному в [4, 5]. Отличие от алгоритма в [4, 5] является то, что в данной задаче нет необходимости сравнивать сигналы со всеми эталонными, достаточно сравнить сигнал с соответствующим по индексу эталонным.

Как показал опыт, чем длиннее сигналы, применяемые в алгоритме MSI, тем точнее будет результат. Предложенный метод позволяет создавать сигналы любой длины. Чтобы исключить кратность, можно использовать простые числа для смещений. При этом, чем больше расстояние между смещением, тем лучше будет работать алгоритм.

## **2. Программа нейрокомпьютерного интерфейса на основе когнитивного вызванного потенциала P300**

На основе предложенного подхода была реализована программа нейрокомпьютерного интерфейса (рис. 2).

Программа получает данные ЭЭГ, обрабатывает и отправляет по сети индекс выбранного пользователем символа. Таким образом, данный интерфейс может использоваться не только для набора текста, но и для других задач, например, управления устройствами, и т.п.

На рисунке 2 представлены параметры настройки программы для ЭЭГ с частотой дискретизации 1 КГц. Снимается сигнал длиной 1000 отсчётов (*число отсчётов*), что соответствует 1 секунде, первые 250 (*отступ*) отсекаются, чтобы получить сигнал когнитивного вызванного потенциала P300, для выполнения алгоритма MSI сигналы создаются с длиной отсчёта 10000 (*длина сигнала*), в соответствии п. 3 и 4, по указанному выше алгоритму.

Для улучшения качества сигнала P300 в программе сделана возможность фильтрации принимаемого сигнала с помощью скользящего среднего (*среднее*), и накопление сигнала суммированием (*число слагаемых*): полученные сигналы перед обработкой сначала

накапливаются и суммируются, чтобы подавить шум и усилить основной сигнал (соответственно, это удлиняет время работы программы). Для усиления эффекта вызванного когнитивного потенциала предусмотрена возможность задать неоднократное мигание символа (*число миганий*). И в случае, если нужна необходимость пользователю настроиться на следующий этап, задаётся временная задержка в миллисекундах (*пауза*).

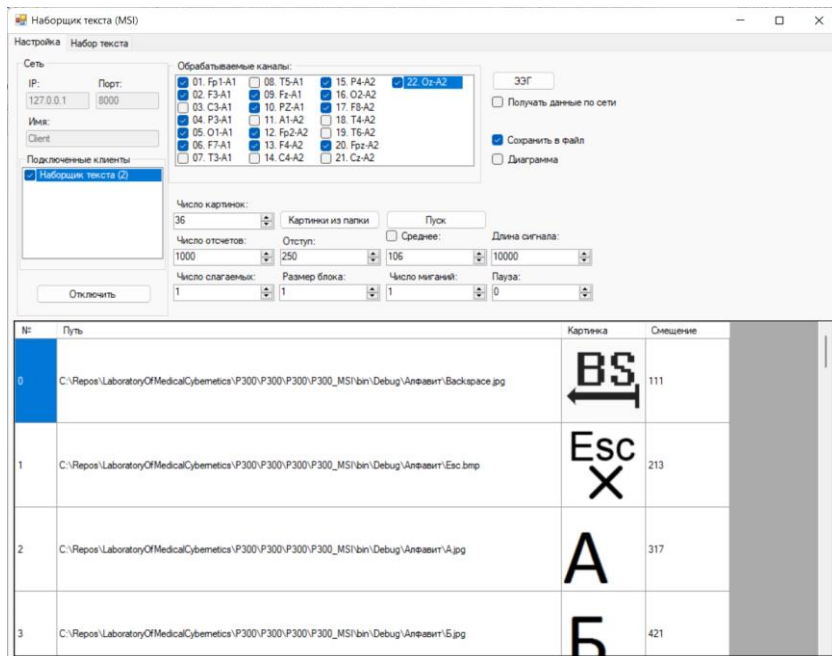


Рис. 2. Настройка программы нейрокомпьютерного интерфейса на основе когнитивного вызванного потенциала P300 с использованием алгоритма MSI

После нажатия на кнопку «Пуск» программа переходит в режим выполнения. Сначала пользователю предлагается посмотреть на выбранный случайным образом символ, чтобы зафиксировать эталон когнитивного вызванного потенциала P300, после чего, если настройка прошла удачно, пользователь может выбрать переход в рабочий режим, или, в противном случае, повторить настройку программы.

Во время работы программы символы, которые представляют собой изображения, поочередно мигают. После того, как произойдёт

мигание всех символов, полученные данные ЭЭГ обрабатываются и результат отправляется выбранному сетевому клиенту (рис. 2 – *подключённые клиенты*).

### **Заключение**

В работе представлен подход для реализации нейрокомпьютерного интерфейса основанного на когнитивном вызванном потенциале P300 с использованием методики алгоритма Multivariate Synchronization Index (MSI) [4, 5], что позволило увеличить точность работы нейрокомпьютерного интерфейса. Работа поддержана грантом РФФИ 19-29-01156 мк

### **Список литературы**

1. Гнездицкий, В. В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике / В. В. Гнездицкий – Таганрог : ТРТУ, 1997. – 252 с.
2. Brain-Computer Interface. An Emerging Interaction Technology / Ch. S. Nam, I. Choi, A. Wadson, M. Wang // Brain-Computer Interfaces Handbook. Technological and Theoretical Advances. – Oxford : CRC Press, 2018. – pp. 11-52.
3. Туровский, Я. А. Сравнительные характеристики алгоритмов детекции стабильных зрительных вызванных потенциалов головного мозга на электроэнцефаллограмме / Я.А. Туровский // Цифровая обработка сигналов. – М. : Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2018. – № 1 – с. 51-55.
4. Multivariate synchronization index for frequency recognition of SSVEP-based brain-computer interface / Ya. Zhang, P. Xu, K. Cheng, D. Yao // Journal of Neuroscience Methods. – 2014. – № 221. – pp. 32– 40.
5. . Comparison of the influence of stimuli color on Steady-State Visual Evoked Potentials / R. Tello, S. Müller, A. Ferreira, T. Freire // Bastos Res. Biomed. Eng. – 2015. – V. 31(3). – pp.218-231.