

## ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ «ИНТЕРФЕЙС МОЗГ-КОМПЬЮТЕР»

Ю.В. Савицкий, А.В. Бауэр, Ф.В. Станкевич  
Научный руководитель: В.Г. Спицын  
Томский политехнический университет  
[mr-l-ik@yandex.ru](mailto:mr-l-ik@yandex.ru)

### Введение

Интерфейс мозг-компьютер (Brain Computer Interface, BCI) позволяет отдавать команды компьютеру непосредственно через мыслительные процессы человека минуя стандартные средства управления. Эта задача в последнее время обрела большую популярность.

Исследования в данной области начались в 1970-х годах в Калифорнийском университете Лос-Анджелеса [1]. Сейчас интерфейс мозг-компьютер развивается для использования в следующих направлениях: общие системы управления компьютером и роботами, системы для людей с ограниченными возможностями, системы для видеоигр.

### Методы BCI

В настоящее время существует два подхода BCI: инвазивный и неинвазивный. Суть инвазивных методов заключается в непосредственном подключении электродов к нервным окончаниям головного мозга. Среди инвазивных методов можно выделить два основных: электрокортикография и микроэлектродный метод. Электрокортикография заключается в наложении плоских электродов непосредственно на поверхность головного мозга. Микроэлектродный метод заключается во введении массива игольчатых электродов в головной мозг. Данные методы позволяют получить точную, в определенной степени, картину процессов происходящих в головном мозге. Однако инвазивные методы имеют ряд технических и этических проблем. В связи с этим наиболее перспективными методами для создания BCI являются неинвазивные методы. Рассмотрим их более подробно.

Среди неинвазивных методов можно выделить два подхода: электроэнцефалография (ЭЭГ) и инфракрасная спектроскопия (near-infrared spectroscopy, NIRS). ЭЭГ базируется на считывании электромагнитных волн с поверхности головы при помощи системы электродов. NIRS основывается на регистрации движения крови в коре головного мозга с применением системы сенсоров, излучающих и принимающих световой сигнал на поверхности головы [2]. Однако NIRS дает опосредованную информацию о процессах, происходящих в мозге, поэтому точность методов основанных на NIRS ниже в сравнении с ЭЭГ-методами. В связи с этим в качестве основного метода целесообразно выбрать ЭЭГ.

### Аппараты ЭЭГ

Теперь перейдем к рассмотрению аппаратов, позволяющих регистрировать ЭЭГ. Регистрация ЭЭГ является достаточно сложной задачей, так как электромагнитные волны человеческого мозга достаточно слабы, и для их регистрации требуются чувствительные датчики. Также во время передачи сигнала на него наводятся различные посторонние колебания (например, 50 Гц сети переменного тока), а также полезный сигнал содержит посторонние сигналы, например мышечную активность (мышц лица, глаз). Современные аппараты ЭЭГ позволяют устранить такие помехи посредством применения различных фильтров (например, полосно-заграждающий фильтр для 50 Гц) и дополнительных электродов фиксирующих мышечные колебания.

Аппарат ЭЭГ состоит из усилителя биологических сигналов (biosignal amplifier), набора электродов и шапки для их крепления. К основным характеристикам аппаратов ЭЭГ относится тип и число электродов, диапазон частот ЭЭГ. Электроды бывают двух типов: активные (с предварительным усилением сигнала в электроде) и пассивные. Активные электроды позволяют получить сигнал более высокого качества за счет повышения соотношения сигнал/шум. Число электродов ЭЭГ варьируется от нескольких штук до 128 и более. В настоящее время типичным числом электродов для BCI является 8-64. Для получения полного охвата основных зон мозга число электродов должно быть не менее 16-ти. Касаясь вопроса о диапазоне частот ЭЭГ, то для получения более полной картины мозговых процессов (альфа, бета, дельта и тета ритмы) целесообразно иметь возможность работы как с низкочастотными (0,01-1 Гц) так и с высокочастотными (~100 Гц) колебаниями.

### Системы BCI

На текущий момент существуют различные системы BCI на базе ЭЭГ, предназначенные как для общего управления компьютером, так и для частных задач, таких как набор текста [3] и управления в видеоиграх. В целом все системы BCI можно разделить по типам анализируемых сигналов на следующие:

- системы, основанные на анализе представления - движения (motor imaginary);
- системы, основанные на анализе определенных событий (event-related systems);
- системы, основанные на анализе общих команд (mental task classification systems).

Оценка качества системы ВСІ является нетривиальной задачей. Одним из показателей, применяющимся для этой цели, является коэффициент передачи информации (Information Transfer Rate, ITR), который оценивает количество переданной и полезно использованной информации [4]. Чем выше ITR, тем выше качество системы.

Однако, несмотря на многообразие систем ВСІ все они обладают существенными недостатками это низкая скорость работы, невысокая точность, сложность адаптации системы под конкретного пользователя, невысокий ITR.

### Потенциальные методы реализации ВСІ

Одной из сложных задач является создание системы ВСІ обладающей высокой скоростью работы, высоким коэффициентом передачи информации и простой адаптацией системы под конкретного пользователя (либо ее отсутствием). Наиболее перспективным направлением видится создание ВСІ для общего управления компьютером на основе анализа общих команд (mental task classification). Метод анализа общих команд позволит пользователю отдавать команды наиболее естественным образом. Однако этот метод является самым трудным.

Задачу реализации ВСІ можно рассматривать как задачу распознавания образов на основе данных ЭЭГ. Алгоритм работы ВСІ может быть представлен следующими этапами: получение данных, предобработка (опционально), извлечение признаков (опционально), классификация образов. Схема алгоритма представлена на рисунке 1.



Рис 1. Алгоритм системы ВСІ

Стоит отметить, что в ВСІ есть существенное отличие от обычных задач распознавания образов и машинного обучения (pattern recognition & machine learning). Если в классическом машинном обучении различные изображения одного и того же образа в той или иной степени похожи друг на друга, то электромагнитные волны мозга индивидуальны для каждого человека, и распознавание образов строится на основе образцов сигналов данного конкретного индивида, то есть требуется некоторая подстройка системы, посредством выполнения пользователем заранее определённых задач (например, расслабление или представление определённого образа). Результатом подстройки является некий вектор коэффициентов специфичный для данного пользователя, который затем используется для преобразования обычных образов.

Вернемся к алгоритму работы ВСІ. Одним из перспективных методов реализации ВСІ можно считать алгоритмы на основе нейроморфных сетевых моделей (нейронных сетей). Нейронные сети обладают рядом преимуществ по сравнению с

обычными статистическими методами. Это адаптивность и хорошая способность к обобщению, что является важным фактором для решения таких нетривиальных задач как ВСІ. В частности стандартный механизм использования коэффициентов специфичных для пользователя может быть заменен модулем на основе нейронной сети, который будет интерпретировать специфичные сигналы в некоторые более общие, что возможно, упростит подстройку системы под пользователя и повысит точность распознавания. Также стандартные подходы извлечения признаков на базе частотных фильтров могут быть заменены сверточной нейронной сетью, которая умеет извлекать признаки на основе использования нейронных структур сходных по организации с биологическими структурами. Также в рамках создания системы ВСІ может быть осуществлена разработка собственной нейроморфной модели подходящей под специфику задачи ВСІ, которую можно использовать обобщение образов и их кластеризации. Финальным элементом модели ВСІ на нейроморфных моделях может служить сверточная нейронная сеть, позволяющая определять принадлежность образа к классу в процентном соотношении.

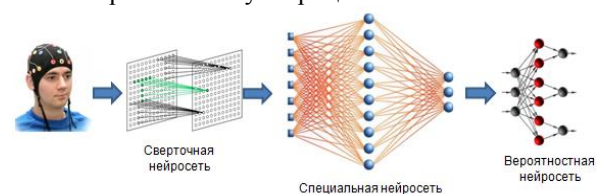


Рис 2. Алгоритм ВСІ с применением нейроморфных моделей

### Заключение

В данной работе был сделан обзор текущего состояния области ВСІ. По итогам работы можно заключить, что, несмотря на популярность данной тематики, на текущий момент системы ВСІ имеют ряд существенных проблем. Одним из способов преодоления этих проблем может стать создание системы ВСІ с применением нейроморфных моделей, в том числе биологически подобных.

### Список использованных источников

1. Vidal, JJ Toward direct brain-computer communication. Annual review of biophysics and bioengineering: 157–80, 1973
2. Biao Zhang, Jianjun Wang, Thomas Fuhlbrigge EEG signal classification for real-time brain-computer interface applications: A review. International Conference on Automation and Logistics, 2010
3. Intendix Speller. URL: <http://www.intendix.com/> Дата доступа: 10.09.2014
4. Bernhard Obermaier, Christa Neuper, Christoph Guger, Gert Pfurtscheller Information Transfer Rate in a Five-Classes Brain-Computer Interface. Ieee Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering, 2001