

УДК 621.391.26

**НЕЙРОИНТЕРФЕСЫ.  
СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПОДСИ-  
СТЕМЫ ОБРАБОТКИ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОГО ИНТЕРФЕЙСА**

М.В. Ульянов, Ульянова Д.О. студенты гр. ИТм-191, I курс.

А.В. Протодьяконов, к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.  
Горбачева, г. Кемерово

Исследования в области создания нейрокомпьютерных интерфейсов начались в 1960-70-х годах на стыке наук и практически сразу заняли нишу в реабилитационной медицине. Возможность подключить к мозгу или выводить информацию из него вызвала волну ажиотажа, за которой последовали многочисленные разработки, направленные на восстановление функциональных способностей организма: моторных функций, зрения, слуха.

Постепенно, интерес к нейроинтерфейсам охватил и другие области: психологию, робототехнику, развлечения, появились такие понятия как брейн- фитнес и майнд-машины, а системы, регистрирующие биопотенциалы мозга и формирующие из них команды стали доступны на бытовом уровне. Пользователь может приобрести разнообразные комплексы, предназначенные как для исследования проблем, связанных с синдромом дефицита внимания, так и для управления квадрокоптером.

Создание программно-аппаратного комплекса сбора и обработки данных нейрокомпьютерного интерфейса предполагает его дальнейшее использование в разработке проектов, направленных, к примеру, на решение бытовых задач, проведение научных исследований, сферу развлечений, управление механизмами.

Примерами подобных проектов могут стать: создание системы управления персональным компьютером для слабовидящих, курсы психологических тренингов для концентрации внимания, управление объектами робототехники, системы «умного дома», управляемые при помощи нейрокомпьютерных интерфейсов, разработка программно-аппаратного комплекса для людей с ограниченной подвижностью, компьютерные игры, управляемые мозговой активностью и т.д.

К интерфейсу компьютер-мозг для решения подобных задач предъявляются требования доступности, удобства и достаточной функциональности.

Нейрокомпьютерный интерфейс (НКИ мозговой интерфейс, интерфейс «мозг – компьютер», ИМК, ВСИ) – устройство или принцип работы, предназначенный для обеспечения односторонней или двухсторонней связи между мозгом и электронным устройством. В 1970-х годах были сформулированы (Жак Видаль) два ключевых вопроса в развитии нейрокомпьютерных интерфейсов: можно ли осуществить передачу информации в мозг при связи чело-

века с компьютером и можно ли использовать данные об электрической активности мозга для управления различными механизмами. Первыми плодами решения задачи передачи информации в мозг стало формирование такой отрасли современной медицины как производство слуховых имплантатов, использующих в своей технологии воздействия на слуховой нерв электрическими импульсами.

Вместе с тем, с 1970-х годов началась разработка системы искусственного зрения (Artifical Vision System), частично реализующая задачу сообщения в мозг зрительной информации. Аппарат представляет собой систему из камеры, закрепленной на очках, блока обработки данных и связанных с ними имплантационных электродов, вживленных непосредственно в область мозга, отвечающую за зрение. При применении подобной системы в зрительный центр мозга поступает лишь часть информации, позволяющая видеть белые точки, очерчивающие предметы (фосфены), что, однако, позволяет ориентироваться в пространстве. Подобные разработки принадлежат таким научным центрам как Dobelle Institute, The Universtiy of Utah (Center for Neural Interfaces), Brown University Biology and Medicine) и др.

Помимо прямого стимулирования зрительных центров существуют также проекты по созданию различных имплантатов, не использующих подключение непосредственно к мозгу, например, проект исследовательской 14 группы Optobionics по разработке искусственной сетчатки (Artifical Silicon Retina).

Существенными недостатками систем, направленных на передачу в мозг зрительной информации являются большие габариты, малое время автономной работы, большое количество проводов и высокая стоимость. Структура указанных недостатков на данный момент исключает бытовое распространение подобных систем.

Исследования по считыванию сигналов мозга с целью управления при их помощи объектами реального мира начались в 1967 году. Эдманд Деван начал использовать для этих целей электроэнцефалограф. Принцип набора текста азбукой Морзе основывался на осознанном управлении альфа-волнами мозга. Использование электроэнцефалограмм и сегодня является основным неинвазивным методом получения сигналов мозга при создании нейроинтерфейсов, однако в подобном методе, по сравнению с прямым взаимодействием с мозгом, есть вполне очевидные недостатки: обилие шумов, сложность обработки сигнала, а также такие утилитарные проблемы как физическое сопряжение датчиков с устройством обработки данных (отсутствие портативности).

Одними из первых примеров интерфейса мозг-компьютер (ИМК, BCI) стали такие разработки как кресло-каталка, управляемое сигналами мозга (Швейцарский институт Dalle Molle и испанский Центр биомедицинских исследований), виртуальная клавиатура (Университет штата Иллинойс, Л.А. Фарвелл, Е. Дончин).

С развитием нейрокомпьютерных интерфейсов, они все больше стали применяться для решения практических задач реабилитационной медицины с целью восстановления моторных и сенсорных (передача информации мозгу) функций.

Помимо узкоспециализированных ИМК, разработанный специально для решения конкретных медицинских задач, также появились и потребительские варианты нейрокомпьютерных интерфейсов, выполняющих более обширный 15 спектр задач: тренинги, системы контроля поведения, профилактики стрессов, СДВГ, системы по работе с психоэмоциональными состояниями и так далее, они вошли в явление, называемое «Брейн фитнес». Появились разнообразные программы, направленные на выполнение тех или иных упражнений, которые нашли широкое применение в психологической практике.

Еще одной областью применения нейроинтерфейсов стала возможность управления роботами и механизмами.

### **Основы электроэнцефалографии. Общая классификация ритмов ЭЭГ**

Регистрация ЭЭГ происходит при помощи наложения на кожу головы электродов (мокрым или сухим способом), коммутированных при помощи проводников с усилителем биопотенциалов. Сопротивление электродов должно быть не более 3-5 кОм. Для изготовления электродов используют металлы, устойчивые к коррозии. Крепление к поверхности головы происходит неинвазивно, при помощи специального шлема или эластичной шапки.

Существуют два способа регистрации ЭЭГ:

- монополярный (регистрация сигналов между активной областью головного мозга и нейтральной зоной, как правило, используется мочка уха);
- биполярный (регистрация между двумя электрически активными участками головного мозга).

Существуют международные схемы наложения электродов на поверхность головы: 10-20%, 10-10% .

В снимаемый ЭЭГ сигнал примешиваются следующие внешние помехи (артефакты):

– Физиологические:

- Наложение кардиограммы;
- Движение глаз;
- Сокращение мышц;
- Движения головы;
- Глотательные движения и т.д.

– Технические:

- Сетевая наводка;
- Движения проводов;
- Плохой контакт электродов с поверхностью и т.д.

**Подготовка к конструированию собственного нейроинтерфейса.**  
проводились работы по разработке компонентов блок-схем, для платы  
OpenBCI.

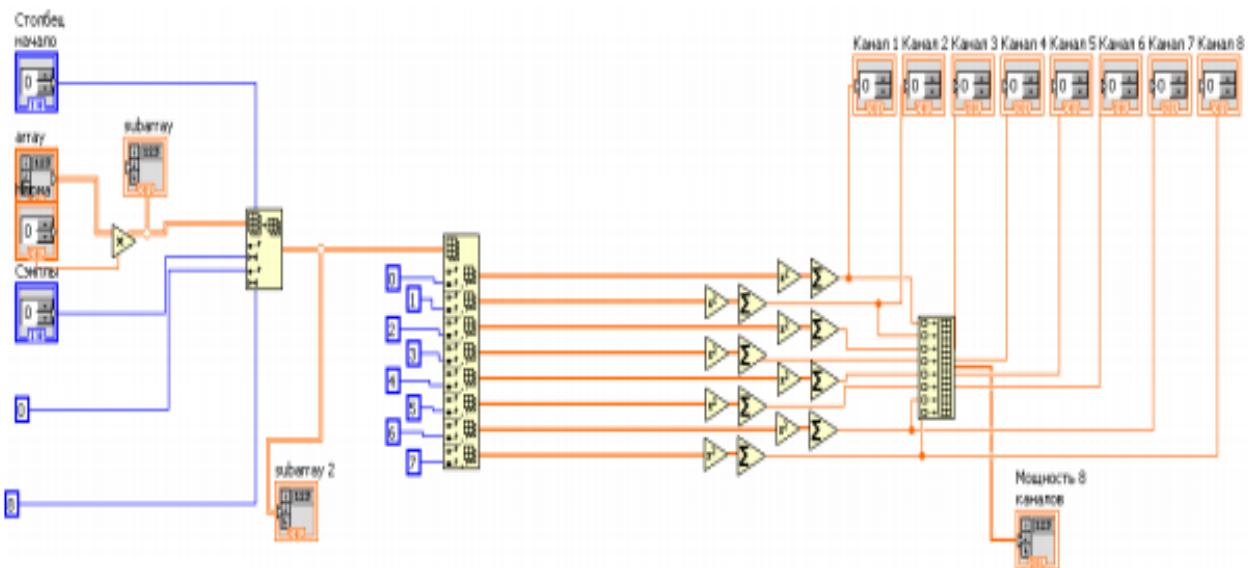


Рисунок 12 – блок-схема

Показаны все пути прохождения сигнала, выявления альфа бета ритмов, фильтрация и тд.

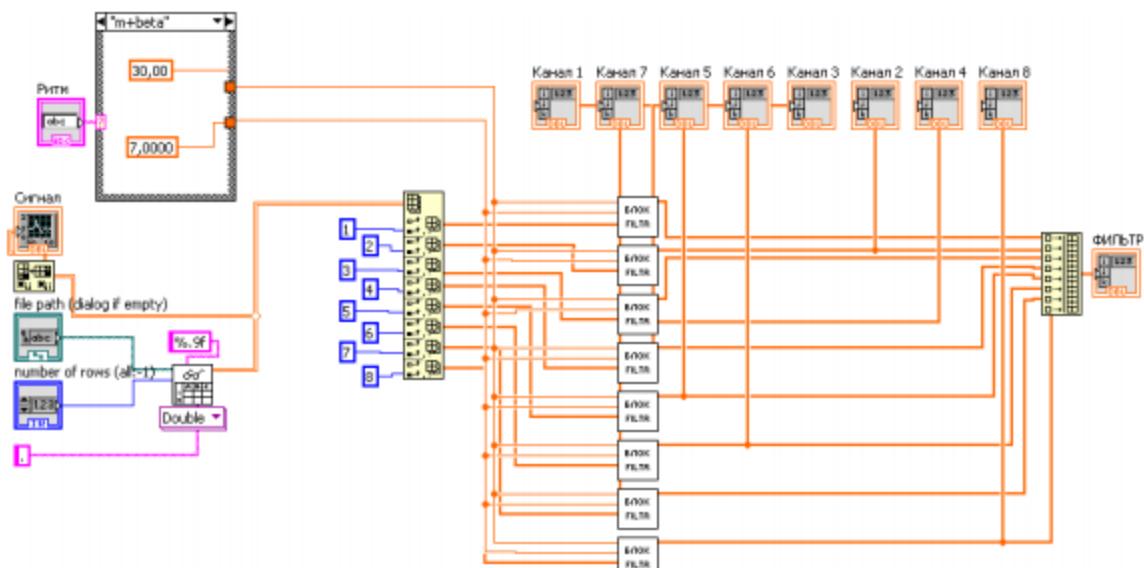


Рисунок 13 – блок-схема с фильтрацией

Так же была разработана 3D модель каркаса для платы и электродов нового нейроинтерфейса, OpenBCI.

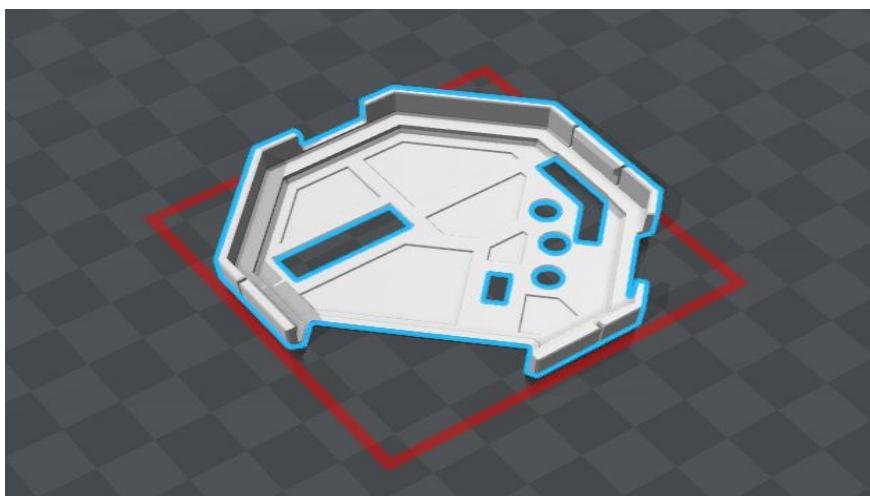


Рисунок 14 - панель под плату OpenBCI

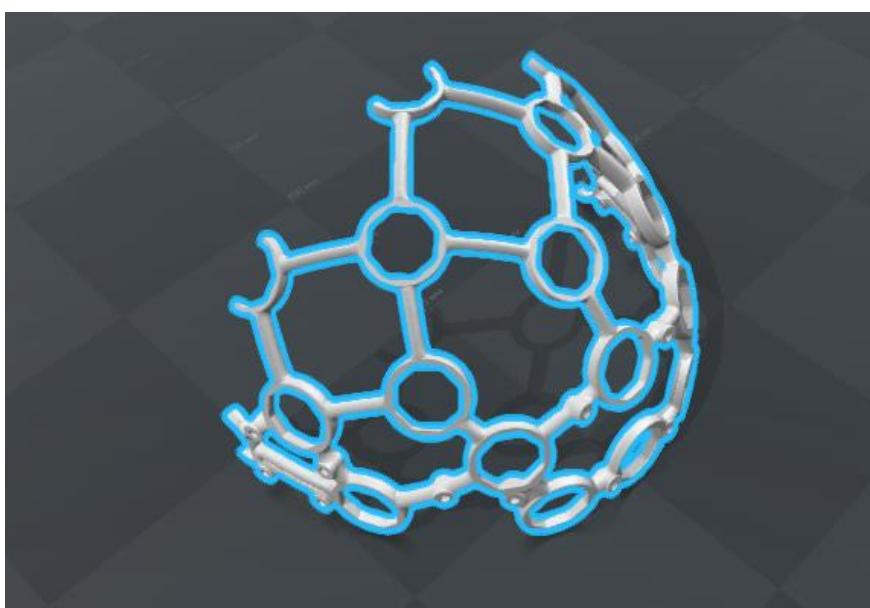


Рисунок 15 – каркас для электродов

Работа с OpenBCI. Избавления от артефактов(шумов):

Задача предобработки сигналов включает в себя в первую очередь фильтрацию сигнала от помех (артефактов): технических и физиологических.

Один из основных методов удаления артефактов – фильтр низких и высоких частот.

Опишем имеющийся у нас сигнал  $X$  матрицей данных, полученных по  $M$  каналам в  $n = 0, 1 \dots N-1$  дискретных отсчетов:

$$X = (\bar{x}(0), \dots, \bar{x}(n), \dots, \bar{x}(N-1)) = \begin{pmatrix} \bar{x}_1(0) & \dots & \bar{x}_1(N-1) \\ \vdots & \bar{x}_m(n) & \vdots \\ \bar{x}_M(0) & \dots & \bar{x}_M(N-1) \end{pmatrix}$$

Для фильтрации подобного дискретного сигнала применяют дискретные (цифровые) фильтры для усиления или ослабления частотных составляющих сигнала.

В общем случае

$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i x(n-i) - \sum_{k=0}^Q a_k y(n-k), n \in \{0, 1, \dots, T-1\},$$

, дискретные фильтры можно описать разностью:

где

$y(n)$  – отсчет выходного сигнала в текущий момент времени;

$x(n-i)$  – отсчеты выходного сигнала в предыдущие моменты времени  $n-i, i \in \{0, 1, \dots, P\}$ ;

$y(n-k)$  – отсчеты выходного сигнала в предыдущие моменты времени  $n-k, k \in \{0, 1, \dots, Q\}$ ;

$b_i$  – коэффициенты входного сигнала  $a_k$  – коэффициент обратной связи;

$P$  – порядок входного сигнала;

$Q$  – Порядок обратной связи.

Дискретный фильтр с обратной связью называется рекурсивным фильтром с бесконечной импульсной характеристикой, для примера, это фильтры Баттервортса, Чебышева, эллиптические фильтры

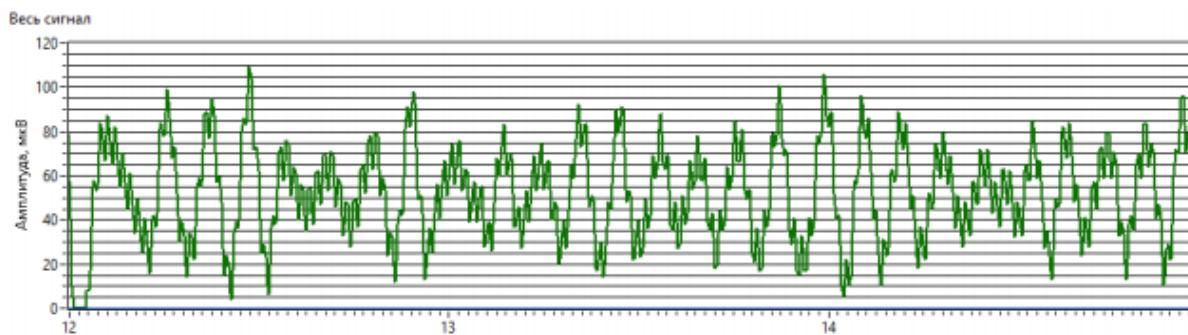


Рисунок 16 – сигнал до наложения фильтра

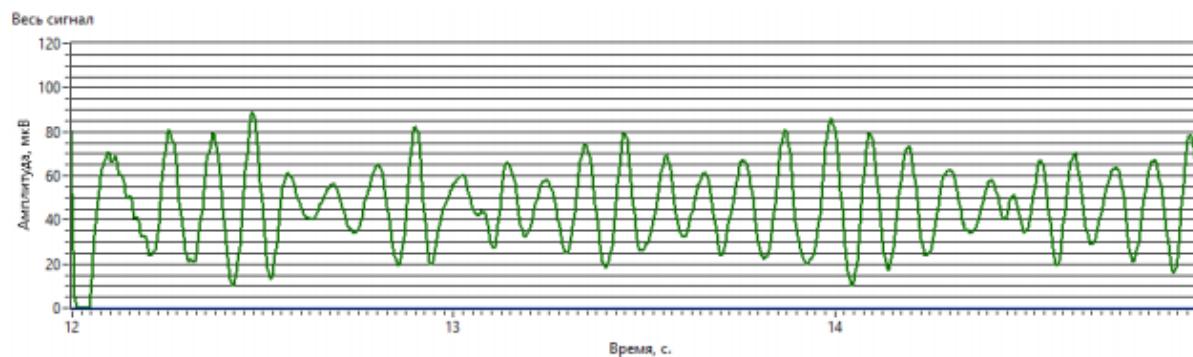


Рисунок 17 – сигнал после наложения фильтра

Важно понимать, что ЭЭГ каждого человека в разный момент времени различается, поэтому нельзя взять одну и ту же выборку для использования во всех случаях. Данная биологическая особенность накладывает на систему сбора и обработки данных нейроинтерфейса определенные неудобства: каж-

дый раз перед ее использованием придется тратить время на индивидуальную настройку программы, занимающую несколько минут, для этого создан модуль, собирающий тестовые выборки для обучения и формирующий уникальную для каждого использования библиотеку.

К системам ИКМ можно применить разделение по типам анализируемых сигналов:

- Анализ представления движения;
- Анализ определения событий;
- Анализ общих команд.

Анализ представления движения видится наиболее интересной областью в исследованиях систем BCI, так как представление движений является осознанным действием в отличие от наступления событий и привязан к моторным функциям, которые представляют собой привычные действия, выполняемые человеком каждый день, следовательно, в отличии от общих команд данный сигнал будет проще сформировать, не отвлекаясь на посторонние раздражители.

Электрическая активность мозга, сопровождающая представление движения и движение самими частями тела регистрируется в определенных областях головного мозга.

Как показано на рисунке, позиционирование электродов должно соблюдаться над теми участками мозга, которые отвечают за управление той или иной группой мышц.

При выполнении или мысленном представлении движений различных частей тела, десинхронизация мю- и бета-ритмов будет наблюдаться в тех отведениях ЭЭГ, которые расположены над соответствующими участками коры головного мозга.

### **Заключение.**

На данный момент времени очень много компаний работают над развитием нейроинтерфейсов. Данная тема является очень перспективной в медицине, обучении, военной сфере, на производствах и т.д.

Конечно, разработки на базе обычных институтах (университетах) с инвазивным (внедряемым в мозг) нейроинтерфейсом нереальна, но с неинвазивными вариантами просто необходима. Изучение этого вопроса, предложения, разработка своих плат, написание своих фильтров, рассмотрение новых видов электродов для съема сигнала. Использование данных разработок в робототехнике.

### **Список литературы**

1. Звездочкина Н. В. Исследование электрической активности головного мозга. Казань: Казанский ун-т, 2014. 59 с.
2. Мозговые интерфейсы // Компьютерные вести. URL: <http://www.kv.by/index2003493401.htm> (11.12.2003)

3. Мозговые интерфейсы // Компьютерные вести. URL:  
<http://www.kv.by/index2003503401.htm> (18.12.2003)
4. Нейроинтерфейсы потребительского класса. Особенности и области применения // НЕЙРОМАТИКС. URL: <http://neuromatix.ru/newsru/neyrointerfeysy-potrebitekskogo-klassa.-osobennosti-i-oblasti-primeneniya..html> (18.03.2015)
5. Обзор усилителей начального уровня для нейрофидбэка // Neuro-fitness. Блог о нейрофидбэке и тренировке мозга. URL: <http://neuro-fitness.ru/bezrubriki/obzor-usilitelej-eeg.html> (24.01.2015)
6. Нейроинтерфейсы для людей (2003-2016). Купить или разработать самому? // Хабрахабр. URL: [https://habrahabr.ru/company/neuronspace/blog/262357/\(28.07.2015\)](https://habrahabr.ru/company/neuronspace/blog/262357/(28.07.2015))
7. Интерфейсы «мозг-компьютер»: практика применения и перспективы // Компьютерра-Онлайн. URL: <http://www.computerra.ru/58046/brain-computerinterface/> (06.03.2013)