**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

(национальный исследовательский университет)»

**РЕФЕРАТ**

|  |  |
| --- | --- |
| На тему: | [Нейрокомпьютерный интерфейс](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D0%B9%D1%81) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Выполнил студент | Руденко В. В. | |
|  | | (фамилия, имя, отчество полностью) |

Группа М4В-301Б

Москва 2021

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. Общее описание технологии, её особенности…...……………….. | | 3 |
| 1. Предыстория создания технологии.......…………………………... | | 4 |
|  | Состав и структура систем, построенных на основе данной технологии.………………………………………………………….. | 6 |
|  | Порядок работы и основные алгоритмы работы…………………. | 8 |
|  | Перспективы её развития………………………..………………….  Литература…………………………………………………………... | 15 |
|  | 16 |
|  |  |

1. **Общее описание технологии, её особенности.**

[**Нейрокомпьютерный интерфейс**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D0%B9%D1%81)**(НКИ)** или интерфейс «мозг-компьютер» **(Brain-computer interface, BCI)** – устройства, которые позволяют пользователям взаимодействовать с компьютерами только посредством активности мозга, эта активность обычно измеряется с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ).

В однонаправленных интерфейсах внешние устройства могут либо принимать сигналы от мозга, либо посылать ему сигналы (например, имитируя [сетчатку](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%82%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%B0) [глаза](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B7) при восстановлении зрения электронным имплантатом). Двунаправленные интерфейсы позволяют мозгу и внешним устройствам обмениваться информацией в обоих направлениях. В основе нейрокомпьютерного интерфейса часто используется метод [биологической обратной связи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D1%8C).

**Электроэнцефалография (ЭЭГ):** предпочтительный физиологический метод регистрации электрической активности, генерируемой мозгом через электроды, размещенные на поверхности кожи головы.

**Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ):** измеряет активность мозга, обнаруживая изменения, связанные с кровотоком.

**Функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия** ( **fNIRS** ): использование ближней инфракрасной спектроскопии (NIRS) для функциональной нейровизуализации. С помощью fNIRS активность мозга измеряется посредством гемодинамических реакций, связанных с поведением нейронов.

**Сверточная нейронная сеть (CNN):** тип искусственной нейронной сети, используемой для распознавания и обработки изображений, которая специально разработана для обработки данных пикселей.

**Зрительная кора:** часть коры головного мозга, которая принимает и обрабатывает сенсорные нервные импульсы от глаз.

1. **Предыстория создания технологии.**

В 1875 году Ричард Кэтон обнаружил электрические сигналы на поверхности мозга животного, а в 1929 году Ханс Бергер опубликовал результаты опытов с ЭЭГ и установил способность мозга для электрической сигнализации.

Первым нейроинтерфейсом можно считать Stimoceiver — электродное устройство, которое может управляться по беспроводной сети с помощью FM-радио. Самые ранние исследования электрических процессов в мозге, начал Хосе Дельгадо, нейрохирург в Йельском университете В 1950-е годы, испытал его в мозге быка, и впервые изменил направление движения животного с помощью НКИ (нейрокомпьютерного интерфейса — прим. ред.).

В 1960-е годы нейрофизиолог Грей Уолтер, используя электроды на коже головы человека, зарегистрировал возбуждения от движения большого пальца человека.

Существуют работы [Н. П. Бехтеревой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%85%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B0,_%D0%9D%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%8F_%D0%9F%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0) с [1968](https://ru.wikipedia.org/wiki/1968) по [2008](https://ru.wikipedia.org/wiki/2008) гг. по расшифровке мозговых кодов психической деятельности, продолжающиеся до настоящего времени её последователями, в том числе, с позиций [нейрокибернетики](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) и офтальмонейрокибернетики.

Первым, кто употребил термин Brain-Computer Interface, стал Жак Видаль (статья «Toward Direct Brain-Computer Communication» 1973 года), после чего стали появляться специализированные институты. В СССР вопросами BCI занимались Институт экспериментальной медицины,  Институт мозга человека РАН, в котором работала небезызвестная Бехтерева Н.П., использовавшая методы вживления электродов в мозг человека.

Эберхард Фетц и его коллеги из университета Вашингтон, является одним из первых пионеров, которые [связали](http://www.csne-erc.org/) машины с разумом. В 1969 году, он опубликовал новаторские открытия об изменении поведения отдельных нейронов. И еще до [появления](https://doi.org/10.1126/science.163.3870.955) персональных компьютеров, он показал, что обезьяны могут [усиливать сигналы своего мозга, чтобы управлять стрелкой,](https://doi.org/10.1126/science.163.3870.955) которая двигалась на циферблате.

В [1970](https://ru.wikipedia.org/wiki/1970)-х годах, начались исследования в [Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82_%D0%B2_%D0%9B%D0%BE%D1%81-%D0%90%D0%BD%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%B5) ([UCLA](https://ru.wikipedia.org/wiki/UCLA)), по направлению нейро-компьютерного интерфейса. После многолетних экспериментов на животных в середине девяностых годов в организм человека были имплантированы первые устройства, способные передавать биологическую информацию от тела человека к компьютеру. С помощью этих устройств удалось восстановить поврежденные функции слуха, зрения, а также утраченные двигательные навыки. В основе успешной работы НКИ лежит способность коры больших полушарий к адаптации (свойство пластичности), благодаря которому имплантированное устройство может служить источником биологической информации.

Исследования, в результате которых были разработаны алгоритмы для реконструкции движений из сигналов нейронов моторной зоны коры головного мозга, которые контролируют двигательные функции, датируются [1970](https://ru.wikipedia.org/wiki/1970)-ми годами. Исследовательские группы, возглавлявшиеся Шмидтом, Фетзом и Бейкером в [1970](https://ru.wikipedia.org/wiki/1970)-х установили, что обезьяны могут быстро обучаться избирательно контролировать скорость реакции отдельных нейронов в первичной двигательной коре головного мозга используя замкнутое позиционирование операций, обучающий метод наказания и наград.

В [1980](https://ru.wikipedia.org/wiki/1980)-х [Апостолос Георгопоулос](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%90%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%81_%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%83%D0%BB%D0%BE%D1%81&action=edit&redlink=1" \o "Апостолос Георгопоулос (страница отсутствует)) из [Университета Хопкинса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82_%D0%94%D0%B6%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%B0_%D0%A5%D0%BE%D0%BF%D0%BA%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%B0) обнаружил математическую зависимость между электрическими ответами отдельных нейронов коры головного мозга у [макак резус](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BA%D0%B0_%D1%80%D0%B5%D0%B7%D1%83%D1%81) и направлением, в котором макаки двигали свои конечности (на основе функции [косинуса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%83%D1%81)). Он также обнаружил, что разные группы нейронов в различных областях головного мозга совместно контролировали двигательные команды, но были способны регистрировать электрические сигналы от возбужденных нейронов только в одной области одновременно из-за технических ограничений, налагаемых его оборудованием.

С середины 1990-х годов началось быстрое развитие НКИ. Нескольким группам ученых удалось зафиксировать сигналы двигательного центра мозга используя записи сигналов от групп нейронов, а также использовать эти сигналы для управления внешними устройствами. Среди них можно назвать группы, возглавлявшиеся Ричардом Андерсеном, Джоном Донахью, Филиппом Кеннеди, [Мигелем Николелисом](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%81,_%D0%9C%D0%B8%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C), Эндрю Шварцом.

В 1998 году Филип Кеннеди [внедрил](http://sci-fact.ru/1-human-fact/upravlenie-myslyu-ot-kompyutera-do-invalidnoj-kolyaski-i-robotov.html) первый нейроинтерфейс в обследуемого человека.

В 1999 году группа Яна Дэна из Университета Калифорнии расшифровала сигналы зрительной системы кошки и воспроизвела изображения, воспринимаемые её мозгом. К 2000 году группа Николелиса создала НКИ, воспроизводящий движения обезьяны во время манипуляций джойстиком. А в июне 2004 года первый «человек-киборг» Мэтью Нэйгл [получил](http://computerra.ru/spec/cyborgs/) полнофункциональный нейроимплант с нейроинтерфейсом от Cyberkinetics Inc.

В России с 2009 года в рамках проекта [NeuroG](http://www.neurog.com/" \t "_blank) разрабатываются алгоритмы распознавания зрительных образов человеком. В 2011 году в Политехническом музее Москвы проектом NeuroG была проведена демонстрация распознавания воображаемых образов.

1. **Состав и структура систем, построенных на основе данной технологии.**

**Состав технологии**

1.Морфологическое описание:

BCI интерфейс довольно сложная система, разобьём её на составляющие.

· Элементы:

· Элементы-это некоторые объекты (материальные, энергетические, информационные), обладающие рядом важных свойств и реализующие в системе определенный закон функционирования F^S, внутренняя структура которых не рассматривается.

· В Нейрокомпьютерном интерфейсе существуют следующие элементы:

1. Компьютер, на котором производится обработка информации

2. Специальное оборудование для энцефалографии/электромиографии (в т.ч. усилители)

3. Человек (или испытуемый объект, животное)

4. Мозг

Энергетические элементы:

5. Биопотенциалы мозга

6. Электрические импульсы

Информационные элементы:

7. Операционная система

8. Специальный софт (программы)

9. Визуальная информация получаемая человеком или устройством

10. Тактильная(сенсорная) информация.

· Связь:

Связь - это вид отношений между элементами, который проявляется как некоторый обмен (взаимодействие), как правило, в исследованиях выделяются внутренние и внешние связи.

1. Внешняя связь в данном примере, это контакты которые прикрепляются к объекту (в виде шапочки с электродами) либо сами электроды, которые вживляются в кору головного мозга. А также провода, которые связывают электроды и принимающее устройство.

1.2. Так же это визуальная связь человека, который, к примеру смотрит на специальную программу на экране. Также может быть звуковая, тактильная связи.

2. Внутреннюю связь можно разделить:

2.1. Программная (всевозможный софт, драйвера, специальные программы для обработки снимаемой информации с датчиков)

2.2. Энергия, или же электрические импульсы проходящие в мозгу, которые считывают электроды и датчики.

2.3. Байты информации, которые идут от датчиков. Впоследствии обрабатываемые специализированными программами.

· Структуры

Структура - это система, для описания которой используется только позиционная (тополого-геометрическая) информация. (Смолянинов)

Она включает в себя:

1. Человека, или объект (мозг животного) который подвергается сканированию

2. Аппаратную связь - интерфейсы ввода-вывода, сканирования

3. Программную связь - ОС, софт, программы для обработки полученных данных

4. Компьютер - обрабатывающий данные, и выдающий результаты на экран

2.Функциональное описание:

Функциональное описание (функциональная модель) должно создать правильную ориентацию в отношении внешних связей системы, ее контактов с окружающим миром, направлениях ее возможного изменения.

Функциональное описание исходит из того, что всякая система выполняет некоторые функции: просто пассивно существует, служит областью обитания других систем, обслуживает системы более высокого порядка, служит средством для создания более совершенных систем.

BCI интерфейс, в данном примере обслуживает систему более высокого порядка, а точнее в некоторых случаях является «языком общения» между системами. Парализованные люди, лишенные возможности общения, наконец могут стать полноценными членами общества, они могут общаться благодаря BCI. Так же инвалиды, вследствие травмы и потери конечности, могут благодаря BCI чувствовать себя более уверенно и совершать движения протезируемыми конечностями через этот интерфейс.

Функциональное описание BCI интерфейса, можно разделить:

Процессы:

1. Обмен биоэлектрической активностью мозга

2. Обмен преобразованными данными (возможно в обе стороны)

3. Преобразование биоэлектрических сигналов в аппаратные

· Функции:

1. Функция движений (протезирование)

2. Функция дистанционного управления (движение курсором на экране)

3. Функция сканирования (выявление нужных участков мозга) К примеру, для диагностики неврологических расстройств, чтобы выявить и при возможности изолировать нужную область мозга.

3. Атрибутивное описание

Свойства и признаки. НКИ - интерфейс, позволяет использовать его во многих сферах деятельности, и любым человеком. Чаще всего человеку требуется некоторое время, порядка нескольких часов, чтобы настроить под него программу, и он может управлять через НКИ с точностью 70-90%.

Нервная система человека во время работы порождает, передает и обрабатывает электрохимические сигналы в разных частях организма. И электрическую составляющую этих сигналов можно попытаться «прочитать» и интерпретировать. можно снимать сигналы при помощи магнитно-резонансной томографии (МРТ), но приборы слишком громоздкие. можно накладывать или вживлять небольшие датчики в определенные части тела. Именно использование таких датчиков и образует так называемые нейрокомпьютерные интерфейсы.

**Построенные технологии**

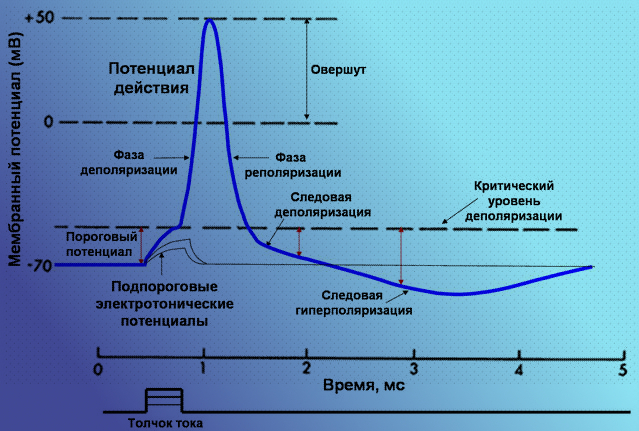
В нейрохирургическом центре в [Кливленде](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B4) в [2004 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/2004_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) был создан первый искусственный кремниевый чип — аналог [гиппокампа](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%BF%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%BF), который в свою очередь был разработан в [университете Южной Калифорнии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82_%D0%AE%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B8) в [2003 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/2003_%D0%B3%D0%BE%D0%B4). Кремний обладает возможностью соединять неживую материю с живыми нейронами, а окруженные нейронами транзисторы получают сигналы от нервных клеток, одновременно конденсаторы отсылают к ним сигналы. Каждый транзистор на чипе улавливает малейшее, едва заметное изменение электрического заряда, которое происходит при «выстреле» нейрона в процессе передачи ионов натрия.

Новая микросхема способна получать импульсы от 16 тысяч мозговых нейронов биологического происхождения и посылать обратно сигналы к нескольким сотням клеток. Так как при производстве чипа нейроны были выделены из окружающих их глиальных клеток, то пришлось добавить белки, которые «склеивают» нейроны в мозге, также образуя дополнительные натриевые каналы. Увеличение числа натриевых каналов повышает шансы на то, что транспорт ионов преобразуется в электрические сигналы в чипе.

1. **Порядок работы и основные алгоритмы работы**

### Порядок работы

Центральная нервная система (ЦНС) — это сложнейшая коммуникативная сеть. В одном только мозге больше 80 миллиардов нейронов, а связей между ними — триллионы. Каждую миллисекунду внутри и снаружи любой нервной клетки меняются распределения положительно и отрицательно заряженных ионов, определяя то, как и когда она отреагирует на новый сигнал. В состоянии покоя нейрон имеет отрицательный потенциал относительно окружающей среды (в среднем -70 милливольт), или «потенциал покоя». Иными словами, он поляризован. Если нейрон получает электрический сигнал от другого нейрона, то, чтобы он был передан дальше, положительные ионы должны попасть внутрь нервной клетки. Происходит деполяризация. Когда деполяризация достигает порогового значения (примерно -55 милливольт, однако это значение может меняться), клетка возбуждается и впускает все больше положительно заряженных ионов, благодаря чему создается положительный потенциал, или «потенциал действия».



Потенциал действия

Далее потенциал действия по аксону (каналу связи клетки) передается в дендрит — канал-реципиент следующей клетки. Однако аксон и дендрит не связаны напрямую, и электрический импульс не может просто перейти от одного к другому. Место контакта между ними называется синапсом. Синапсы производят, передают и принимают нейромедиаторы — химические соединения, осуществляющие непосредственную «переправку» сигнала от аксона одной клетки к дендриту другой.

Когда импульс доходит до окончания аксона, тот выпускает в синаптическую щель нейромедиаторы, преодолевающие пространство между клетками и прикрепляющиеся к окончанию дендрита. Они вынуждают дендрит впустить внутрь положительно заряженные ионы, перейти из потенциала покоя к потенциалу действия и передать сигнал в тело клетки.

От типа нейромедиатора также зависит, какой сигнал будет отправлен дальше. Например, глутамат приводит к возбуждению нейронов, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК) является важнейшим тормозным медиатором, а [ацетилхолин](https://nplus1.ru/material/2018/04/06/novaya-novichok?fbclid=IwAR0omoR1OtiDWYTSQilPl8X0Lk6uNy686BRlOZzJ1m2x25Vt71KesoamBTA) способен делать и то, и другое в зависимости от ситуации.

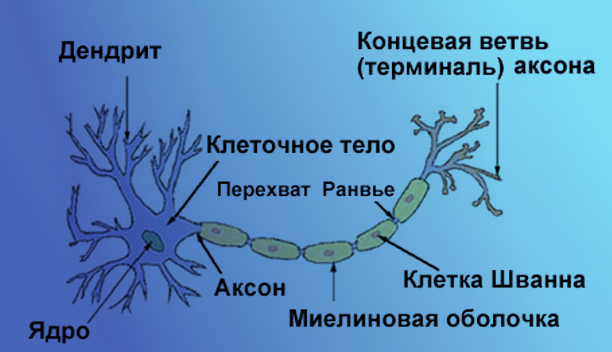


Схема нейрона

Более того, реакция клетки-реципиента зависит от количества и ритма поступающих импульсов, идущей от остальных клеток информации, а также от зоны мозга, из которой был отправлен сигнал. Различные вспомогательные клетки, эндокринная и иммунная системы, внешняя среда и предыдущий опыт — все это определяет состояние ЦНС в данный момент и тем самым влияет на поведение человека.

И хотя, как мы понимаем, ЦНС — это не набор «проводов», работа нейроинтерфейсов основывается именно на электрической активности нервной системы.

Если очень упростить, то нервная система человека во время работы порождает, передает и обрабатывает электрохимические сигналы в разных частях организма. И электрическую составляющую этих сигналов можно попытаться «прочитать» и интерпретировать.

Для этих целей можно использовать разные способы, которые имеют свои достоинства и недостатки. Например, можно снимать сигналы при помощи магнитно-резонансной томографии (МРТ), но приборы слишком громоздкие.

Можно постоянно вводить специальные вещества-маркеры, но тем самым можно навредить организму. Наконец, можно накладывать или вживлять небольшие датчики в определенные части тела. Именно использование таких датчиков и образует так называемые нейрокомпьютерные интерфейсы.

Устройство представляет собой резиновую шапочку с большим количеством проводов и датчиков.

Следует различать нейрокомпьютерные интерфейсы и «мозгокомпьютерные» интерфейсы. Вторые являются лишь частным случаем первого и имеют дело только с головным мозгом. Нейроинтерфейсы взаимодействуют со всем телом. По сути, мы имеем опосредованное или прямое подключение к нервной системе человека, через которое мы можем получать и посылать некие сигналы.

Можно по-разному «подключиться» к человеку. Все зависит от датчиков. Например, по степени погружения датчики бывают:

* Непогружные — электроды находятся на поверхности кожи или даже несколько удалены от нее, как в медицинской шапочке.
* Частично погружные — датчики находятся на поверхности мозга или рядом с нервами.
* Погружные датчики — это непосредственное вживление в мозг или в нервы и сращивание с ними. У этого варианта есть много негативных побочных эффектов — можно случайно что-то задеть, вызвать реакцию отторжения организма, да и вообще страшно. Но он тоже используется.

Для улучшения качества сигнала датчики могут дополнительно смачивать специальными жидкостями, проводить первичную обработку сигнала «на месте» и так далее. Далее считанные сигналы обрабатываются специализированным программно-аппаратным обеспечением и в зависимости от целей выдают тот или иной результат.

Основная задача нейроинтерфейса — декодировать электрический сигнал, поступающий от мозга. Программа имеет набор «шаблонов», или «событий», состоящий из различных характеристик сигнала: частот колебаний, спайков (пиков активности), локаций на коре и так далее. Программа анализирует поступающие данные и пытается обнаружить в них эти события.

От полученного результата, как и от функционала системы в целом, зависят посылаемые далее команды.

Примером такого шаблона является вызванный потенциал [P300](https://en.wikipedia.org/wiki/P300_(neuroscience)) (Positive 300), часто используемый для так называемых [спеллеров](https://youtu.be/wKDimrzvwYA) — механизмов набора текста при помощи сигналов мозга.

Когда человек видит на экране нужный ему символ, через 300 миллисекунд на записи активности мозга можно обнаружить позитивный скачок электрического потенциала. Обнаружив P300, система посылает команду о печати соответствующего символа.

При этом с одного раза обнаружить потенциал алгоритм не может из-за зашумленности сигнала случайной электрической активностью. Поэтому символ необходимо предъявить несколько раз, а полученные данные — усреднить.

Помимо одномоментного изменения потенциала, нейроинтерфейс может искать изменения в ритмической (то есть осцилляторной) активности мозга, вызванные определенным событием. Когда достаточно большая группа нейронов входит в синхронный ритм колебаний активности, то это можно обнаружить на спектрограмме сигнала в виде ERS (event-related synchronisation). Если же, наоборот, происходит рассинхронизация колебаний, то на спектрограмме присутствует ERD (event-related desynchronisation).

В момент, когда человек производит или просто представляет движение рукой, в двигательной коре противоположного полушария наблюдается ERD на частоте колебаний примерно 10–20 герц.

Этот и иные шаблоны могут быть заданы программе вручную, но зачастую они создаются в процессе работы с каждым конкретным индивидом. Наш мозг, как и особенности его активности, индивидуален и требует адаптации системы к нему.

**Запись сигнала**

Большинство нейроинтерфейсов для записи активности используют электроэнцефалографию (ЭЭГ), то есть неинвазивный метод нейровизуализации — в силу его относительной простоты и безопасности. Электроды, прикрепленные к поверхности головы, регистрируют изменение электрического поля, вызванное изменением потенциала дендритов после того, как потенциал действия «перебрался» через синапс.

В момент, когда положительные ионы проникают в дендрит, в прилегающей к нему внешней среде образуется отрицательный потенциал. На другом конце нейрона ионы с тем же зарядом начинают покидать клетку, создавая снаружи положительный потенциал, и окружающее нейрон пространство превращается в диполь. Электрическое поле, распространяющееся от диполя, регистрируется электродом.

К сожалению, метод обладает рядом ограничений. Череп, кожа и остальные слои, отделяющие нервные клетки от электродов, хоть и являются проводниками, но не настолько хорошими, чтобы не искажать информацию о сигнале.

Электроды способны регистрировать только суммарную активность множества соседних нейронов. Основной вклад в результат измерения дают нейроны, расположенные в верхних слоях коры, чьи отростки перпендикулярны к ее поверхности, потому что именно они создают диполь, электрическое поле которого сенсор может уловить лучше всего.

Все это приводит к потере информации из глубинных структур и снижению точности, поэтому система вынуждена работать с неполными данными.

Инвазивные электроды, имплантируемые на поверхность или непосредственно внутрь мозга, позволяют добиваться куда большей точности.

Если нужная функция связана с поверхностными слоями мозга (например, двигательная или сенсорная активность), то имплантация ограничивается трепанацией и прикреплением электродов к поверхности коры. Сенсоры считывают суммарную электрическую активность многих клеток, но этот сигнал не так искажен, как при ЭЭГ.

Если же важна активность, расположенная глубже, то электроды внедряют внутрь коры. Возможна даже регистрация активности единичных нейронов при помощи специальных [микроэлектродов](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15473196" \t "_blank). К сожалению, инвазивная методика представляет потенциальную опасность для человека и применяется в медицинской практике только в крайних случаях.

Однако есть надежда, что в будущем методика станет менее травмирующей. Американская компания [Neuralink](https://youtu.be/r-vbh3t7WVI" \t "_blank) планирует осуществить идею безопасного внедрения тысяч тонких гибких электродов без сверления черепа, при помощи лазерного луча.

Еще несколько [лабораторий](https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=815) работают над созданием биоразлагаемых [сенсоров](https://www.scholars.northwestern.edu/en/publications/bioresorbable-silicon-electronics-for-transient-spatiotemporal-ma), что позволит удалять электроды из мозга.

**Обработка сигналов**

Одна из проблем, с которыми мы столкнемся при работе с данными мозга, заключается в том, что эти данные обычно содержат много шума. При использовании ЭЭГ, например, в данных будут отображаться такие вещи, как скрежетание зубами, а также движения глаз. Этот шум необходимо отфильтровать.

Теперь данные можно использовать для обнаружения реальных сигналов. Когда субъект активно генерирует сигналы, мы обычно знаем, какие сигналы мы хотим обнаружить. Одним из примеров является волна P300, которая представляет собой так называемый связанный с событием потенциал, который проявляется при предъявлении нечастого стимула, важного для задачи. Эта волна будет отображаться как большой пик в ваших данных, и вы можете попробовать различные методы машинного обучения для обнаружения таких пиков.

**Декодирование**.

Есть два возможных пути декодирования активности мозга: позволить алгоритму самому вычленить из набора данных релевантные характеристики или же дать системе описание параметров, которые надо искать.

В первом случае алгоритм, не ограниченный параметрами поиска, сам классифицирует «сырой» сигнал и найдет элементы, предсказывающие намерения с наибольшей вероятностью. Если, например, испытуемый попеременно думает о движении правой и левой рукой, то программа способна найти параметры сигнала, максимально отличающие один вариант от другого.

Проблема этого подхода заключается в слишком высокой многомерности параметров, описывающих электрическую активность мозга, и большой зашумленности данных различными помехами.

При втором алгоритме декодирования необходимо заранее знать, где и что искать. Например, в описанном выше примере спеллера P300 мы знаем, что при виде нужного человеку символа электрический потенциал изменяется определенным образом. Мы учим систему искать эти изменения.

В подобной ситуации возможность расшифровать намерения человека завязана на наших знаниях о том, как функции мозга закодированы в нейронной активности. Как то или иное намерение или состояние проявляется в сигнале? К сожалению, в большинстве случаев у нас нет ответа на этот вопрос.

Нейробиологические исследования когнитивных функций активно ведутся, но тем не менее, мы можем расшифровать очень малую долю сигналов. Мозг и сознание остаются для нас пока «черным ящиком».

Александр Каплан, нейрофизиолог, доктор биологических наук и основатель лаборатории нейрофизиологии и нейроинтерфейсов МГУ имени Ломоносова, получивший первый в России грант на разработку нейроинтерфейса для связи мозга и компьютера, рассказывает, что исследователям удается по признакам ЭЭГ автоматически расшифровывать некоторые намерения человека или мысленно представляемые им образы.

Однако на данный момент таких намерений и образов набралось не более десятка. Это, как правило, состояния, связанные с расслаблением и умственным напряжением или с представлением движений частей тела. И даже их распознавание происходит с ошибками: например, установить по ЭЭГ, что человек намерен сжать в кулак правую кисть, даже в самых лучших лабораториях удается не более чем в 80-85 процентах случаев от общего числа попыток.

А если попробовать понять по ЭЭГ, представляет себе человек банан или апельсин, то количество правильных ответов лишь слегка превысит уровень случайного угадывания.

Главное препятствие — это отсутствие ключей к расшифровке сигналов, которыми общаются между собой нервные клетки. Не зная кодов, невозможно подключиться к потокам информации. Проблема здесь не в том, что эти ключи трудно подобрать, а в исходном их отсутствии. В каждой паре нервных клеток их взаимное понимание обусловлено не только пробегающими между ними нервными импульсами, но и их взаимодействием с тысячами других нервных клеток. Это взаимодействие ежесекундно модифицируется, реагируя на мимолетные мыслей, колики в животе, дуновения ветра. Как это учесть, чтобы правильно подключиться к мозгу?  
  
*Александр Каплан,  
основатель лаборатории нейрофизиологии и нейроинтерфейсов МГУ имени Ломоносова*

Самое печальное в том, что повысить надежность нейроинтерфейсных систем в деле распознавания намерений человека по ЭЭГ и расширить список таких намерений не удается вот уже более 15 лет, несмотря на значительные успехи в развитии алгоритмики и вычислительной техники, достигнутые за это же время.

Видимо, в ЭЭГ отражается лишь малая часть мыслительной деятельности человека. Потому и к нейроинтерфейсным системам следует подходить с умеренными ожиданиями и четко очерчивать сферы их реального применения.

**Трудности перевода**

Почему мы не можем создать систему, делающую то, что с легкостью осуществляет мозг? Если вкратце, то схема работы мозга слишком сложна для наших аналитических и вычислительных возможностей.

Во-первых, мы не знаем «языка», на котором общается нервная система. Кроме импульсных рядов, его характеризует множество переменных: особенности путей и самих клеток, химические реакции, происходящие в момент передачи информации, работа соседних нейронных сетей и других систем организма.

Помимо того, что «грамматика» этого «языка» сама по себе сложна, у разных пар нервных клеток он может отличаться. Ситуация усугубляется тем, что правила коммуникации, а также функции клеток и отношения между ними — все это очень динамично и постоянно меняется под воздействием новых событий и условий. Это экспоненциально увеличивает количество информации, которую необходимо принимать в расчет.

Данные, полностью описывающие активность мозга, просто утопят любой алгоритм, который возьмется за их анализ. Поэтому декодирование намерений, воспоминаний, движений оказывается практически нерешаемой задачей.

Если импульсы передаются от одного компьютера в другой, то можно по адресам, по протоколам понять, что это, например, переброска из одних адресов памяти в другие адреса памяти, потому что протокол обмена и формат данных нам об этом свидетельствует. В случае мозга нет никаких шансов сделать прямую связь так, как связываются два процессора. Поэтому нет никаких теоретических предпосылок к тому, что информация из мозга потечет в компьютер, а из компьютера в мозг. Нет форматов данных, нет адресов, нет кодов.  
  
*Александр Каплан*

Второе препятствие заключается в том, что мы и о самих функциях мозга, которые пытаемся обнаружить, не очень много знаем. Что такое память или зрительный образ, из чего они состоят? Нейрофизиология и психология давно пытаются ответить на эти вопросы, но пока большого продвижения в исследованиях нет.

Когда мы создаем зрительный образ — где он? Во всей голове. Потому что он синтетический: в него вплетаются не только зрительные, но и тактильные, обонятельные и другие ощущения. И как же мы будем подключаться?  
  
Мозг это не та система, которая может поддаться таким элементарным процедурам, какие используются для тренировки распознавания номеров пролетающих мимо автомобилей. В ходе таких тренировок нейросетям много раз предъявляют номера и каждый раз говорят, что это за номера.  
  
В нашем случае надо эти нейросети подключить к нейронам, много раз давать разную электрическую активность и каждый раз говорить, что она означает. Но мы-то этого не знаем. Вся мощь компьютеров и алгоритмики нейросетей оказывается бесполезна, потому что мы даем эти импульсы и не говорим, что они означают.  
  
*Александр Каплан*

Простейшие функции вроде двигательных и сенсорных имеют в этом смысле преимущество, так как они лучше изучены. Поэтому имеющиеся на данный момент нейроинтерфейсы взаимодействуют в основном с ними.

Они способны распознавать [тактильные ощущения](https://nplus1.ru/news/2016/10/14/feel-the-touch), [воображаемое движение конечностью](https://nplus1.ru/news/2017/09/01/bci-stroke), [ответ на зрительную стимуляцию](https://nplus1.ru/news/2015/10/27/high-speed-spelling), а также простые реакции на события внешней среды вроде [реакции на ошибку](https://nplus1.ru/news/2017/03/07/error-proof) или на [рассогласование](https://www.semanticscholar.org/paper/A-P300-Brain-Computer-Interface-Based-on-a-of-the-Jin-Sellers/dc9f1cad923bc5d705455be5c0bd9841ef13ec5c) между ожидаемым стимулом и реальным. Но высшая нервная деятельность остается на сегодня для нас большой тайной.

**Основные алгоритмы работы**

**Двусторонняя связь**

До сих пор мы обсуждали только ситуацию одностороннего считывания информации без какого-либо обратного воздействия. Однако сегодня уже существует технология передачи сигналов от компьютера в мозг — CBI (computer-brain interface). Она делает канал связи нейроинтерфейса двусторонним.

# **Сверточная нейронная сеть и BCI**

CNN - это тип нейронной сети ИИ, основанной на зрительной коре головного мозга. Он имеет возможность автоматически изучать соответствующие функции из входных данных, оптимизируя весовые параметры каждого фильтра посредством прямого и обратного распространения, чтобы минимизировать ошибку классификации.

Слуховая кора человека имеет иерархическую организацию, аналогичную зрительной коре. В иерархической системе ряд областей мозга выполняет различные типы вычислений над сенсорной информацией по мере ее прохождения через систему. Более ранние области или «первичная зрительная кора» реагируют на простые особенности, такие как цвет или направление. Более поздние этапы позволяют решать более сложные задачи, такие как распознавание объектов.

Одним из преимуществ использования техники глубокого обучения является то, что она требует минимальной предварительной обработки, поскольку оптимальные настройки изучаются автоматически. Что касается CNN, извлечение признаков и классификация интегрированы в единую структуру и автоматически оптимизируются. Более того, данные временных рядов fNIRS людей были введены в CNN. Поскольку свертка выполняется в режиме слайд-шоу, процесс извлечения признаков CNN сохраняет временную информацию данных временного ряда, полученных с помощью fNIRS.

Информация (например, звук, тактильные ощущения и даже данные о работе мозга) поступает в компьютер, анализируется и через стимуляцию клеток центральной или периферической нервной системы передается в мозг. Все это может происходить полностью в обход естественных органов восприятия и успешно используется для их замещения.

В лаборатории прикладной физики Университета Джона Хопкинса несколько лет назад протестировали бионическую руку, способную передавать тактильную информацию в мозг.

Во время прикосновения к сенсорам искусственной руки электроды стимулируют пути периферической нервной системы, передающие далее сигнал в сенсорные зоны мозга. Человек учится распознавать поступающие сигналы как разные виды прикосновения. Таким образом, вместо попытки воспроизвести тактильную систему сигналов, естественную для человека, создается новый канал и язык коммуникации.

1. **Перспективы её развития.**

Перспективные проекты с применением BCI позволят адаптировать *кресла-коляски* к командам от сигналов, извлекаемых из мышц, моргания глаз и движений глазного шара. Этот интерфейс использует запись электрической активности мозга пользователя, при условии, что его когнитивные способности не нарушены.

Помимо этого, BCI имеет возможность *встраивать пользователей в виртуальную среду*, способствуя прямой связи с монитором, мышью или клавиатурой без мышечной активности. Примером коммерческого использования BCI является *нейрогарнитура* *Neurosky Mindwave* (цена около 250$). Она использует неинвазивные сигналы ЭЭГ для захвата мозговых волн и взаимодействия с аппаратными и программными ресурсами, компьютерами или мобильными устройствами (сотовыми телефонами или планшетами).

Имеются проекты устройства для воссоздания речевых способностей с использованием синтезатора речи. В его основе два подхода: *инвазивный* – у пользователя с трудностями в устном общении и *неинвазивный* – у пользователей без нарушения устной коммуникации. Результаты, представленные в исследованиях данного проекта, являются многообещающими, и их уточнение может быть достигнуто за счет лучшего понимания нейронной проекции речи. Другие разрабатываемые проекты предполагают применение BCI в сотовых телефонах, что позволит пользователям находить номер в своем списке контактов и совершать звонки. Этот метод эффективен для лиц с двигательными нарушениями. Если станет возможным использование мобильного телефона на основе BCI, можно будет реализовать несколько других проектов в этой отрасли, включая беспроводные технологии (управление контактами силой мысли).

Способность обратной связи BCI может также быть использована для избирательного контроля над определенными областями мозга, благодаря использованию нейронной обратной связи (использование дисплея мозговой активности в реальном времени), чтобы модифицировать поведение человека. Нейронная обратная связь BCI может улучшить когнитивную работу, речевые способности и контроль над болью, а также использоваться для лечения психических расстройств, таких, как эпилепсия, синдром дефицита внимания, шизофрения, депрессия и других. Отметим, что будущая перспективность BCI будет зависеть от ее практичности и надежности.

1. **Литература**
2. [**https://nplus1.ru/material/2019/09/16/neurointerface**](https://nplus1.ru/material/2019/09/16/neurointerface)
3. [**https://www.kaspersky.ru/blog/direct-neural-interfaces/7665/**](https://www.kaspersky.ru/blog/direct-neural-interfaces/7665/)
4. [**https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9\_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D0%B9%D1%81**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D0%B9%D1%81)
5. ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет», РЕФЕРАТ

По теме: Brain Computer Interface - нейрокомпьютерный интерфейс (https://revolution.allbest.ru/programming/00415141\_0.html)

1. [**https://vechnayamolodost.ru/articles/biomedicin/nejpoobupparu/**](https://vechnayamolodost.ru/articles/biomedicin/nejpoobupparu/)
2. **https://towardsdatascience.com/a-beginners-guide-to-brain-computer-interface-and-convolutional-neural-networks-9f35bd4af948**