



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 83 за 2017 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

**Павловский В.Е.,
Солдатенкова Е.А.**

“Интерфейс мозг-
компьютер” для экзоскелета
БИОМЕХ: базовая
функциональность

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Павловский В.Е., Солдатенкова Е.А.
“Интерфейс мозг-компьютер” для экзоскелета БИОМЕХ: базовая функциональность //
Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 83. 20 с. doi:[10.20948/prepr-2017-83](https://doi.org/10.20948/prepr-2017-83)
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2017-83>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В. Келдыша
Российской академии наук**

В.Е. Павловский, Е.А. Солдатенкова

**“ИНТЕРФЕЙС МОЗГ-КОМПЬЮТЕР”
ДЛЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА БИОМЕХ:
БАЗОВАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ**

Москва 2017

УДК 612.829.3

В.Е. Павловский, Е.А. Солдатенкова

**“ИНТЕРФЕЙС МОЗГ-КОМПЬЮТЕР” ДЛЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА БИОМЕХ:
БАЗОВАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ**

В работе произведен анализ существующих решений; описана базовая реализация ИМК, а также показана пригодность бюджетных устройств для снятия показаний ЭЭГ в целях использования в связке с экзоскелетом.

Ключевые слова: интерфейс мозг-компьютер, экзоскелет

V.E.Pavlovsky, E.A.Soldatenkova

**"THE BRAIN-COMPUTER INTERFACE" FOR THE EXOSKELETON
BIOMECH: BASIC FUNCTIONALITY**

In the work we have made a review of existing BCI solutions, described the basic implementation of an improved BCI and shown the suitability of inexpensive devices for extracting raw EEG data to use together with an exoskeleton.

Keywords: *brain computer interface, exoskeleton*

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-29-08406 офи-м.

1. Введение

С развитием технологий (электронных, робототехнических) все чаще встает вопрос о применении их непосредственно во взаимодействии с человеческим телом. На сегодняшний день известно много бионических-биотехнических проявлений такого взаимодействия: от протезов до искусственных органов. Одни из них работают на электромиографии (воспринимают импульсы от мышц) [1], другие совершенно не воспринимают сигналы от организма [2]. Существует много реабилитационных комплексов [1-28] для пациентов, частично утративших способность к самостоятельному передвижению, которые требуют ежедневных физических нагрузок на другие части тела (например, управляются руками). Ведутся также разработки комплексов для людей с квадриплегией (параличом всех рук и ног) или почти полной утратой функционирования конечностей. В некоторых странах проводят операции по вживлению электродов в мозг, чтобы в будущем человек мог управлять протезом "усилием воли", но многим людям в подобных состояниях такие операции противопоказаны из-за высокого риска осложнений и слабого состояния пациента в целом.

Целью настоящей работы является исследование возможностей создания системы, которая бы позволила пациенту управлять механической системой – протезом или реабилитационным комплексом – без посторонней помощи, минимизируя количество приложенных собственных физических усилий, направленных на приведение механики в действие, без хирургического вмешательства и с минимальным временем обработки данных. Одним из средств реализации этого подхода может стать небольшое мобильное устройство, способное снять электроэнцефалограмму – шлем ЭЭГ.

2. Экзоскелет БиоМех

Экзоскелет БиоМех (рис.1, [3]) предназначен для восстановления двигательной функции у людей, которые долго находились без движения и не могут управлять ногами.

Согласно медицинским исследованиям и данным, если ноги пациента будут повторять движения, аналогичные ходьбе (механически исполнять шагательные паттерны), то есть шанс восстановить нужные нейронные связи, чтобы человек снова мог ходить. Результатом работы нескольких алгоритмов является полная кинематическая схема движения, строго повторяющая ходьбу человека. Возможность поиска и прессового воздействия на биологически активные зоны стопы, голеностопа и конечностей, особенно нижних, позволяет надеяться на улучшение, а возможно, и на восстановление нарушенных при спинномозговой травме вегетативных функций. Соединение таких модулей с механизмом для принудительного движения опорно-двигательного аппарата

ноги человека позволяет сформировать требуемый биомехатронный тренажёр как на базе имеющихся биомеханических тренажёров с тредбаном, так и в варианте кровати-вертикализатора [3].

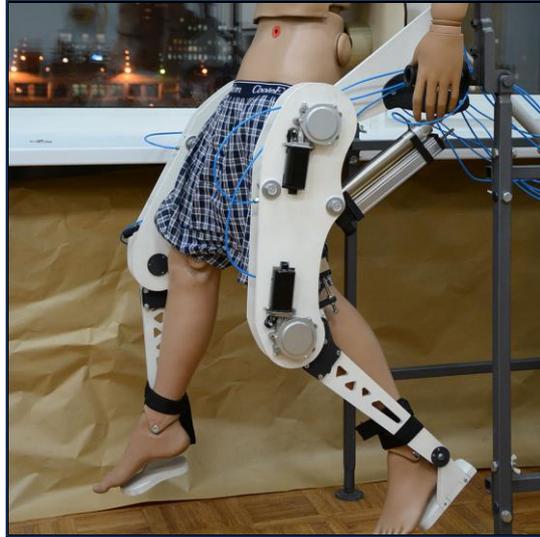


Рис.1. Общий вид экзоскелета нижних конечностей (BioMech).

3. Постановка задачи

Для реализации возможности управления механическим устройством с помощью “силы мысли” необходимо иметь возможность отделять импульсы, направленные на управление устройством, от прочих. Возникает необходимость в классификации данных, полученных с электроэнцефалографа. Основной задачей является поиск способа отличить намерение подвигать ногой от намерения покрутить головой и выяснение наличия такой возможности в принципе.

В поисках ответа на этот вопрос необходимо решить следующие задачи:

- ввести предположения о картировании мозга;
- составить модель биоэлектрической активности;
- создать приложение, способное управлять экзоскелетом на основе полученной модели.

4. Технологии

4.1. Электроэнцефалография (ЭЭГ)

Все живые клетки обладают раздражимостью, т. е. способностью переходить из состояния физиологического покоя в состояние активности под влиянием определенных раздражителей (факторов внешней или внутренней среды). Тем не менее, термин “возбудимые клетки” применяют только по отношению к нервным, мышечным и секреторным клеткам, способным в ответ на действие раздражителя генерировать специализированные формы колебания

электрического потенциала. Изучение таких потенциалов, сопровождающих процессы возбуждения и торможения в живых клетках, имеет важное значение не только для понимания природы подобных процессов, но и для выявления характера нарушений деятельности возбудимых клеток при различных видах патологии [4].

В современной клинике особенно широкое распространение получили методы регистрации электрических потенциалов сердца (электрокардиография), мозга (электроэнцефалография) и мышц (электромиография).

Электроэнцефалография – метод исследования головного мозга, основанный на регистрации его электрических потенциалов электродами, расположенными непосредственно на мозге или на поверхности скальпа. Большое количество проведенных исследований показало, что электрические потенциалы отдельных нейронов головного мозга связаны тесной и достаточно точной количественной зависимостью с информационными процессами.

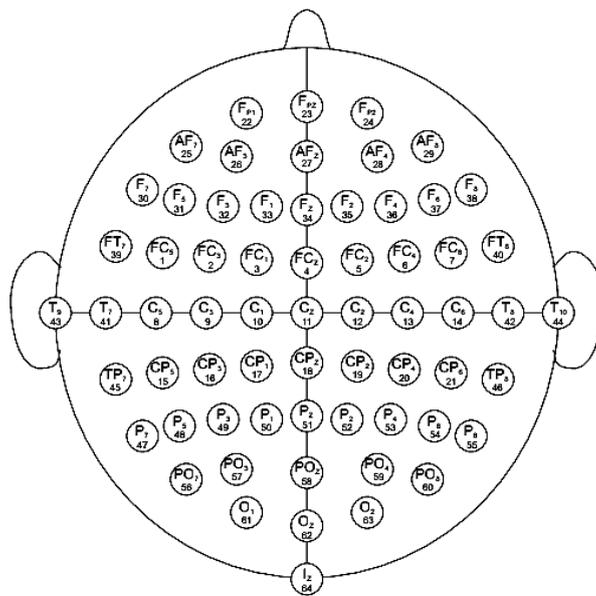


Рис. 2. Расположение электродов 64-канального электроэнцефалографа на голове человека

Наиболее адекватной в настоящее время является концепция статистического отображения активности множественных нейронных потенциалов в суммарной ЭЭГ. Она предполагает, что ЭЭГ является результатом сложной суммации электрических потенциалов многих нейронов, работающих, в основном, независимо. Отклонения от случайного распределения событий в этой модели будут зависеть от функционального состояния мозга (сон, бодрствование) и от характера процессов, вызывающих элементарные потенциалы (спонтанная или вызванная активность) [5].

ЭЭГ имеет несколько значимых преимуществ над другими методами изучения активности мозга:

- очень высокое разрешение по времени,
- электрическая активность изучается напрямую (другие фиксируют, например, изменения скорости кровотока),
- можно проводить одновременно с фМРТ или магнитоэнцефалографией.

Различные виды ЭЭГ используются, например, в следующих ситуациях:

- разделение вида приступов (отделение эпилептического от психогенных неэпилептического типа, обмороков, мигрени и двигательных расстройств) и их характера с целью подбора лечения;
 - локализация участка мозга, в котором зарождается приступ, для осуществления дальнейшего хирургического вмешательства;
 - мониторинг глубины анестезии;
- и т.д.

4.2. “Интерфейс мозг-компьютер” (ИМК)

Интерфейс мозг-компьютер, или нейрокомпьютерный интерфейс, (brain-computer interface, BCI) – технология, позволяющая обрабатывать сигналы с коры головного мозга, передавать их на вычислительное устройство для дальнейшей обработки и синхронизации с управляемым устройством или специализированным ПО. Сейчас пациенты, которые не могут двинуть ни одной мышцей, могут набирать текст, передавая команды через изменения электрической активности головного мозга.

4.3. Emotiv Eroc EEG

Emotiv Eroc EEG (рис.3, рис.4) – мокрый непогружной нейрокомпьютерный интерфейс с пассивными электродами. Это означает, что его электроды необходимо смачивать, они располагаются на поверхности кожи и не обрабатывают данные сами – только фиксируют и передают дальше.

Устройство имеет 14 каналов и два гироскопа. Разъемов для датчиков 18 штук, а самих датчиков – 16 (еще два канала являются опорными). При работе устройство считывает электрические сигналы не только от мозга, но и от мышц – электромиограмму. Эти сигналы сильнее, чем сигналы от мозга, и их нужно отфильтровать. Для этого считываются дополнительные данные из зон, где есть сигналы от мышц, но нет сигналов от мозга – это точки в височной области и в районе ушей. Так как с каждой стороны возможны 2 варианта расположения опорных каналов (висок и за ухом), устройство имеет 4 дополнительных разъема для датчиков. Работает Emotiv Eroc EEG от 7 до 12 часов без подзарядки и соединяется с компьютером по беспроводной радиосвязи [6].



Рис. 3. Emotiv EPOC EEG

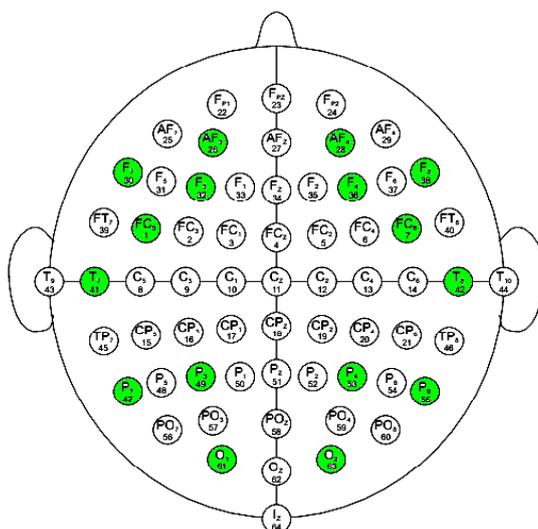


Рис. 4. Расположение датчиков Emotiv EPOC EEG на голове человека

5. Обзор мировой практики

На сегодняшний день существует много работ, заслуживающих внимания. Среди них выделим типичные с обратной связью типа ЭЭГ – экзоскелет “Илья Муромец” (Нейронаучный центр НИИ Институт живых систем» ННГУ им. Н.И. Лобачевского), система нервного шунтирования (NBS) (Университет штата Огайо, Мемориальный институт Баттеля) и система управления нижними конечностями (Корейский университет, Сеул, и Берлинский технический университет).

5.1. Экзоскелет “Илья Муромец” (ННГУ им. Лобачевского)

В Нижегородском государственном университете имени Н.И. Лобачевского на стадии разработки находится роботизированный комплекс для реабилитации пациентов с нарушениями функций нижних конечностей в связи с травмами и заболеваниями головного и спинного мозга. Впервые проект увидел свет на выставке-форуме ВУЗПРОМЭКСПО-2015.

По словам руководителя разработки Сергея Минеева, продукт поможет не только людям с ограниченными возможностями функционирования нижних конечностей, но и тем, кто полностью утратил способность ходить. Заявляется также, что данный аппарат имеет преимущества перед аналогами за счет нейроинтеграции: на официальном сайте университета в пресс-релизах можно найти информацию об использовании в проекте электромиографии (ЭМГ).



Рис. 5. Экзоскелет "Илья Муромец"

5.2. Система нервного шунтирования (NBS) (Университет штата Огайо и Мемориальный институт Баттеля)

В конце весны 2016 года в журнале Nature были опубликованы результаты новой разработки американских ученых. Новая технология, получившая название “Системы нервного шунтирования” (The neural bypass system, NBS), позволила восстановить функции руки пациенту с квадриплегией (параличом рук и ног).

Молодой человек, парализованный четырьмя годами ранее переломом шейного отдела позвоночника, получил приглашение для испытаний новой технологии. Работа с пациентом была разделена на несколько этапов.

На первом этапе молодому человеку было предложено вообразить движения руки, показанные на экране. Вся активность его моторной коры регистрировалась и картировалась с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ).

На следующем этапе пациенту предстояла операция по вживлению в

картированную область мозга гибкого микрочипа NeuroPort с 96 микроэлектродами Utah Arrays фирмы Blackrock [7]. Этот же микрочип был подключен к индивидуально созданному нервно-мышечному чрескожному электростимулятору со 120 электродами, наложенными на правое предплечье.

Последний этап оказался самым долгим и занял порядка 15 месяцев. Все это время молодой мужчина тренировался использовать систему нервного шунтирования (NBS) для совершения движений кистью и пальцами. Так как все сигналы от микрочипа к электростимулятору проходили через интерфейс с машинным обучением, к концу обучения система смогла четко определять 33 динамических стереотипа со средним отношением сигнала к шуму 3,05.

По результатам работы, пациент смог управлять отдельными пальцами, совершать шесть типов движений кистью, брать и перемещать предметы. Также он смог совершать действия, требующие мелкой моторики: молодому человеку, например, удалось сыграть на гитарном симуляторе [8].



Рис. 6. Пациент с вживленными электродами



Рис. 7. Электростимулятор

5.3. Система управления нижними конечностями (Корейский и Берлинский университеты)

Берлинский технический университет совместно с Корейским университетом создали экзоскелет для управления нижними конечностями.



Рис. 8. Комплекс, созданный Берлинским и Корейским университетами

Особенностью этой работы является использование непогружной электроэнцефалографии. В исследовании принимали участие 11 здоровых мужчин в возрасте от 25 до 32 лет. Компьютер получал данные от восьми электродов MOVE System фирмы Brain Products GmbH, анализировал информацию и передавал команду экзоскелету Rex фирмы Rex Bionics Ltd [9][10]. Во время экспериментов возникало множество проблем, связанных с корректным получением, расшифровкой и анализом ЭЭГ, большая часть которых может быть связана с конструкцией электроэнцефалографа и небольшим периодом тренировки испытуемых (порядка 8 минут) [11].

6. Особенности изученных проектов

Из минусов ЭМГ, использованного в “Илье Муромце”, можно отметить слабую мобильность и высокую стоимость оборудования. Ее также считают одной из самых дорогих методик, так как требуются большие человеческие и временные затраты, а также высока стоимость расходных материалов. Из-за отсутствия единой системы написания заключения и большого количества разных подходов к анализу данных часто расшифрованные значения трактуются неоднозначно. Иногда выводы, представляемые в клиническом резюме, не соответствуют возможностям проводимых методик [12]. Также существуют ограничения: ЭМГ используется с осторожностью при приеме препаратов, влияющих на нервную систему, антикоагуляторов или наличии имплантированного пейсмейкера (искусственного водителя ритма сердца).

Использование системы нервного шунтирования (NBS) возможно только при подключении к лабораторному компьютеру. Она имеет очень много электродов на микрочипе и электростимуляторе и, соответственно, высокую стоимость. Необходимы предварительная фМРТ, операция по вживлению чипа и тренировки в течение долгого времени. Также перед каждым сеансом работы требуется дополнительная калибровка устройства [13].

У корейско-берлинского комплекса во время экспериментов возникало много помех из-за того, что испытуемые могли двигать головой, в то время как конструкция электроэнцефалографа не была предназначена для подобного использования. В связи с этим сигналы были прерывистыми или сильно зашумленными [11].

7. Авторская реализация

С учетом проанализированных особенностей данных проектов создана реализация, не требующая хирургического вмешательства, использующая более точную методику, нежели ЭМГ, и асинхронную модель обработки данных.

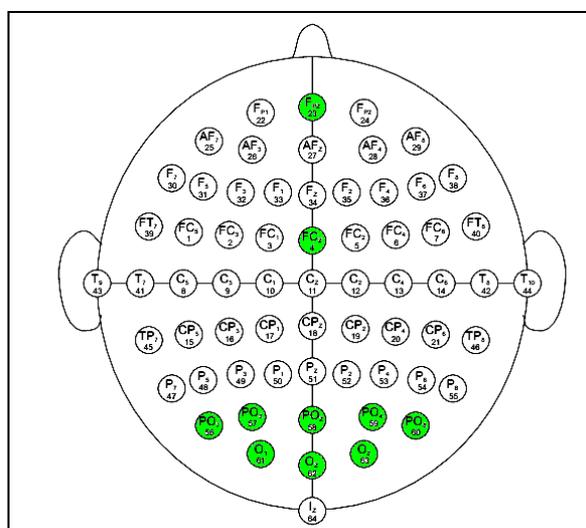


Рис. 9. Расположение электродов на голове пациента в реализованной системе

Реализация проекта выполнена для платформы Linux на языке Python 3.5 с использованием следующих библиотек:

- PyQt5 – интерфейс для графического фреймворка Qt для языка Python [14];
- PyQtGraph – набор научно-исследовательских визуализирующих инструментов на чистом Python с использованием PyQt [15];
- Asyncio – модуль для создания однопоточных асинхронных приложений [16];
- Quamash – реализация event-loop из Asyncio (PEP 3156) для фреймворка Qt [17];
- Peewee – компактная ORM для баз данных, поддерживающая SQLite, MySQL и PostgreSQL [18];
- PyCrypto – библиотека для (де-)шифрования данных [19];
- Scikit-learn – набор аналитических инструментов для Python [20];
- Unittest – фреймворк для юнит-тестов [21].

7.1. База данных

В качестве БД используется MySQL. Необходимость в БД обусловлена спецификой задачи: если человек пережил, например, инсульт или страдает шизофренией и часть его мозга, отвечающая за нужное движение, перестала функционировать или уменьшилась в объеме, можно натренировать мозг отдавать тот же сигнал другой частью благодаря т.н. нейропластичности.

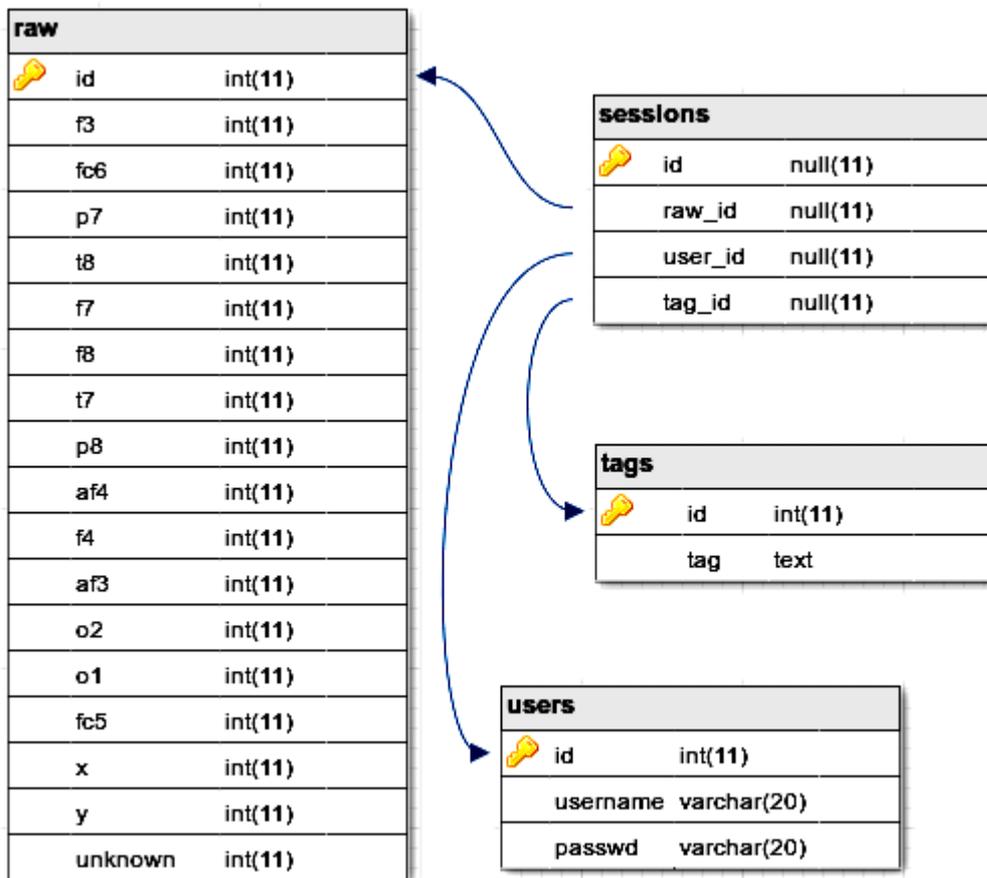


Рис. 10. Схема базы данных

При нейропластичности мозг сам реорганизуется, перераспределяя функции поврежденного участка мозга на другие [22]. Так как невозможно сделать универсальной модель, по которой система будет определять намерения любого – и здорового и травмированного – пользователя, принято решение сделать её индивидуальной. Для этого нужно: определять его желания (для этого используется машинное обучение) и хранить данные каждого конкретного пользователя. Для хранения результатов работы программа использует базу данных, в которой находятся четыре таблицы: *sessions*, *users*, *tags*, *raw*.

В таблице *users* хранятся учетные записи пользователей. Она имеет 3 столбца: *id* – уникальный идентификатор записи (ключ), *username* – имя пользователя, *passwd* – пароль для идентификации пользователя.

В таблице *tags* хранятся тэги, или метки, для удобства классификации данных. Имеет 2 столбца: *id* – уникальный идентификатор метки (ключ), *tag* – сама метка.

В таблице *raw* хранятся бинарные данные, полученные с устройства Emotiv EPOC EEG. Здесь 18 столбцов: *id* – уникальный идентификатор вектора данных (ключ), *af3*, *fc6*, *p7*, *t8*, *f7*, *f8*, *t7*, *p8*, *af4*, *f4*, *af3*, *o2*, *o1*, *fc5*, *x*, *y*, *unknown* – поля для записи данных соответствующих электродов.

В таблице *sessions* хранятся результаты обучения на тренировочных данных. В этой таблице *id* – уникальный идентификатор сессии (ключ), *raw_id* – идентификатор данных с устройства (внешний ключ к таблице *raw*), *user_id* – идентификатор пользователя (внешний ключ к таблице *users*), *tag_id* – идентификатор метки (внешний ключ к таблице *tags*).

Для удобства работы выбрана библиотека Peewee [18], которая является ORM-“оберткой” для использования БД.

7.2. Сбор данных

Устройство подключается к компьютеру через интерфейс USB HID (human-interface device, устройство, взаимодействующее с человеком), базирующийся на протоколе USB 1.1.

Жесткость протокола обеспечивает простоту разработки ПО для поддержки компьютером, а это означает, что нет необходимости писать полноценные драйверы для устройства. Таким образом возможно создать USB-устройство, которое не требует создания и инсталляции специальных драйверов в большинстве распространенных компьютерных операционных систем.

HID-устройства имеют специальные дескрипторы. Когда хост определит, что устройство принадлежит к классу HID, он передает управление им соответствующему драйверу. Таким образом, устройство Emotiv EPOC EEG преобразуется в HID-device, а бинарные данные с электродов — в векторы чисел. Считывание данных реализовано асинхронно, чтобы никакой компонент приложения не совершал постоянные блокирующие вызовы и для него было возможно постоянное получение сигналов. За счет асинхронности также достигается высокая скорость и производительность приложения.

7.3. Машинное обучение. Интеллектуальная компонента

Интеллектуальная составляющая программы реализована с помощью библиотеки Scikit-learn: это Python-модуль, реализующий множество алгоритмов машинного обучения. Для классификации бинарных данных, полученных с устройства, был выбран метод опорных векторов (Support Vector Classification — SVC), известный метод классификации на основе разделимости), так как многократное тестирование нескольких алгоритмов на реальных данных показало, что именно он выдает наиболее адекватные результаты [23].

Классификация методом опорных векторов SVC — это набор алгоритмов обучения с учителем, использующихся для задач классификации и регрессионного анализа. SVC относится к группе граничных методов. Основная идея метода — перевод исходных векторов в пространство более высокой размерности и поиск разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором в этом пространстве. Две параллельных гиперплоскости строятся по обеим сторонам гиперплоскости, разделяющей классы. Разделяющей гиперплоскостью будет гиперплоскость, максимизирующая расстояние до двух параллельных гиперплоскостей. Алгоритм работает в предположении, что чем больше разница или расстояние между этими параллельными гиперплоскостями, тем меньше будет средняя ошибка классификатора. Классификация считается хорошей, если область между границами пуста [24]—[27].

Достоинства:

- требует достаточно небольшого набора данных,
- гарантирует высокую точность гипотез для будущих данных с распределением, подобным обучающей выборке.

Недостатки:

- для классификации используется не все множество образцов, лишь их небольшая часть, которая находится на границах.

В рассматриваемом случае данными векторов стали бинарные данные со шлема, каждой итерации считывания данных соответствует отдельный вектор.

Модель обучается с помощью метода $fit(X, Y)$. Он принимает в качестве аргументов два массива одинаковой длины: один — с обучающими примерами X , другой — с соответствующими им метками классов Y . После того как модель обучена, она может предсказывать результаты с помощью метода $predict(T)$, где T — вектор, который необходимо классифицировать [20]. В описываемом случае вектором T является вектор бинарных данных вида $\langle A_0, A_1, \dots, A_{16} \rangle$, где A_i — целое число, соответствующее сигналу электрода i в текущей сессии работы, $i = 0, \dots, 16$; массивом X является массив векторов бинарных данных, полученных в ходе предыдущих сессий; массивом Y — соответствующие им метки классов-настроек.

7.4. Интерфейс

Интерфейс написан с помощью библиотеки PyQt5, которая предоставляет набор средств для использования фреймворка Qt с языком Python. Библиотека Quamash была использована, чтобы встроить интерфейс в асинхронную модель работы приложения. Так как Qt совершает исключительно блокирующие вызовы, а отрисованный интерфейс вплоть до закрытия окна — один сплошной

блокирующий вызов, необходимо было заменить его стандартную event-loop на асинхронную из Asyncio, что и делает Quamash.

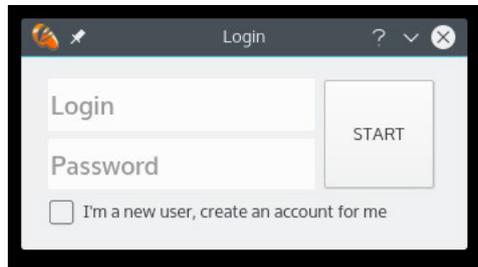


Рис. 11. Окно входа в систему

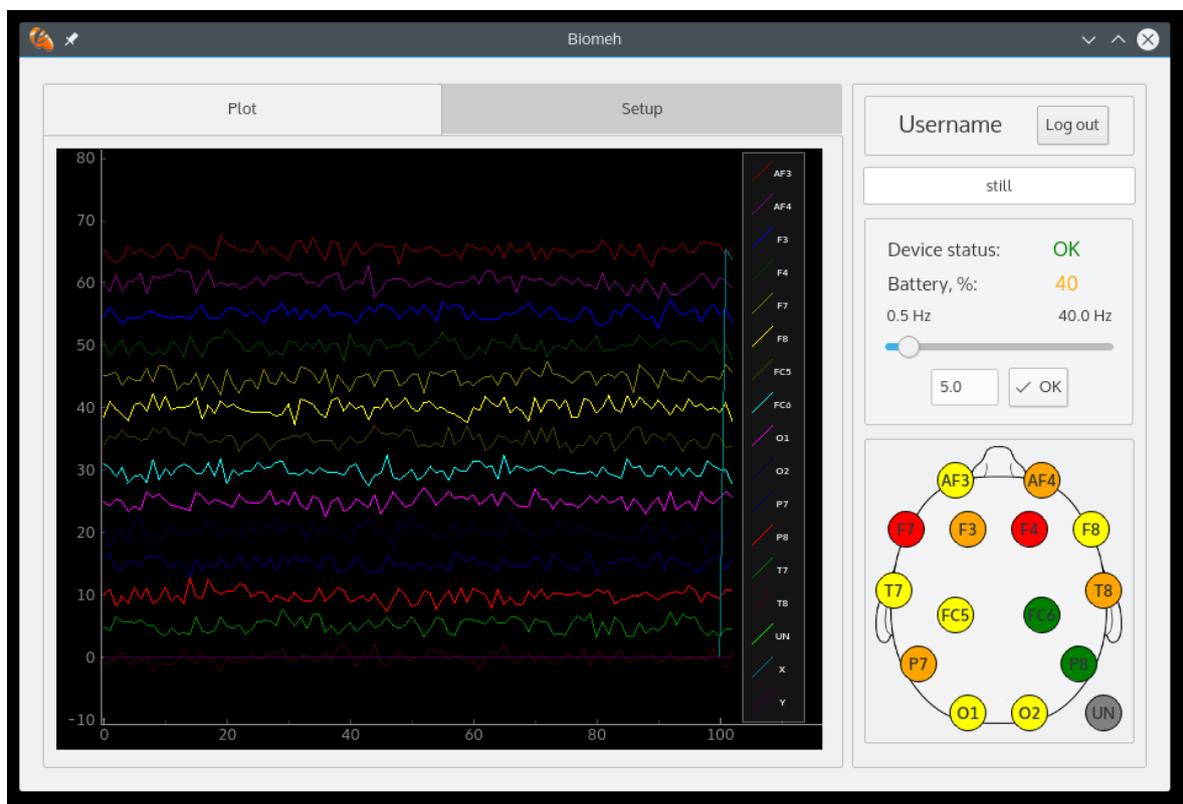


Рис. 12. Вкладка с графическим представлением сигналов (главное окно)

Интерфейс состоит из нескольких окон: входа в систему, главного окна и окна обучения модели (рис.11-14). На окне входа в систему расположены два поля для ввода идентификационных данных (Login – имя пользователя и Password – пароль для входа в систему), чекбокс для создания нового пользователя и кнопка, запускающая основную работу приложения. На главном окне расположено 2 вкладки – графическое представление бинарных данных с устройства и настройки, а также информация о состоянии системы (сверху вниз): имя текущего пользователя, кнопка для смены пользователя, текущее распознанное состояние, идентификатор подключенного устройства, уровень

заряда его батареи, настройки частоты получения данных, а также графическое представление качества сигнала от каждого из сенсоров устройства.

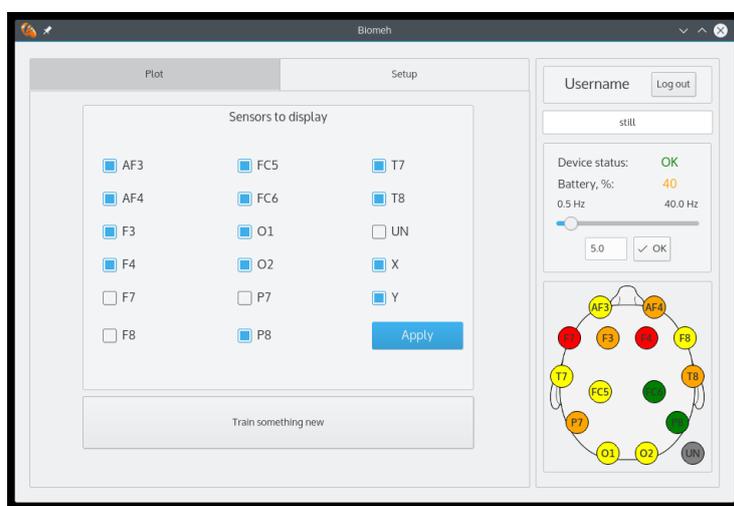


Рис. 13. Изменение отображения на вкладке с настройками (главное окно)

На вкладке с настройками можно (до)обучить систему и выбрать, показания каких электродов нужно скрыть, а каких – показать. При (до)обучении системы пользователю показывается окно, на котором есть поле для названия нового или существующего (при дообучении) состояния, кнопка начала обучения, остановки, а также кнопки сохранения и отмены.

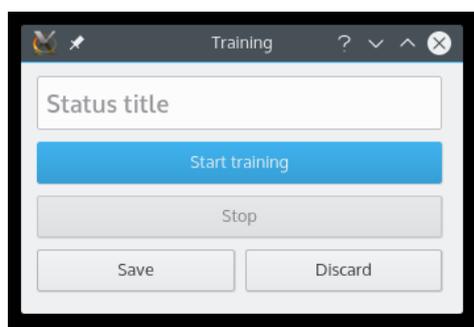


Рис. 14. Окно (до)обучения

8. Картирование мозга

Из профильной литературы известно, что картирование мозга реально и действительно существуют зоны, “ответственные” за движения тех или иных частей тела [28],[29]. Однако все исследования проводились либо на профессиональном оборудовании, которое имеет гораздо больше датчиков, чем имеющееся устройство, либо прямой электрической стимуляцией моторной коры мозга. Значит, текущая задача сводится к определению возможностей Emotiv Eroc EEG: достаточно ли на нем электродов, и подходит ли их расположение для подобного анализа. Для того чтобы определить, возможно ли

картировать и локализовать области мозга, "ответственные" за движения, устройством Emotiv Eroc EEG, были проведены эксперименты с участием нескольких человек. Испытуемые выполняли одни и те же движения примерно в одном темпе, после чего их ЭЭГ были наложены друг на друга. В качестве движений была выбрана ходьба вверх и вниз по лестнице, так как первичный анализ предполагался визуальным. Учитывая специфику постановки задачи, предполагается, что чем сложнее физическая задача, тем более явным должен быть зафиксированный электродами электрический импульс.

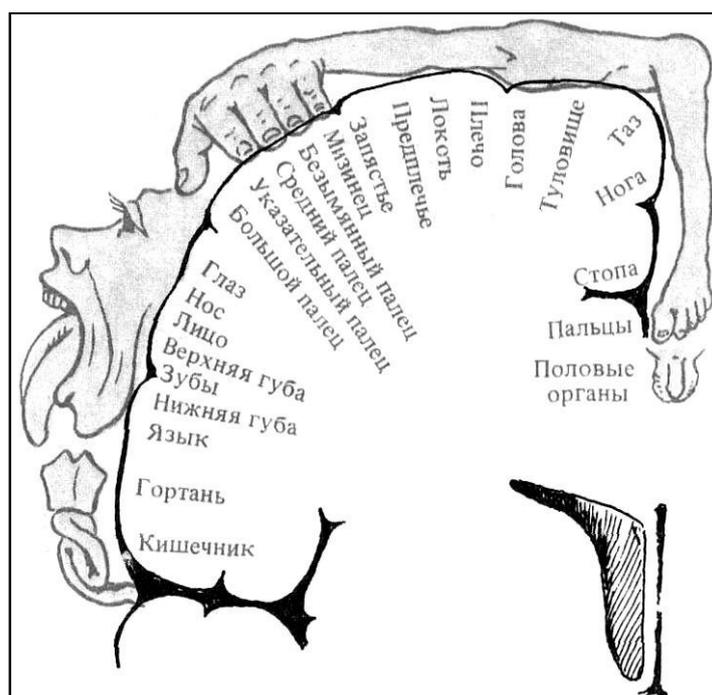


Рис. 15. Проекция двигательной сферы в прецентральной извилине коры головного мозга

По результатам оказалось, что электроды AF3, AF4, F4, F8, O1, O2 примерно в одно и то же время фиксируют всплеск активности, что может свидетельствовать о наличии искомых областей. Эти электроды отмечены на рис. 16.

Так как в эксперименте участвовали здоровые люди, нас интересуют в первую очередь симметрично расположенные электроды: AF3 – AF4, O1 – O2. Электроды же F4 и F8 можно связать с движениями левой руки: правая у участников эксперимента находилась на перилах, в то время как левая свободно двигалась – этим обусловлено наличие перекрестной активности в правом полушарии мозга [28, 29]. Это также соответствует расположению моторных областей по Penfield & Rasmussen [28], в работе которых сообщается о расположении зон “управления” руками на удалении от продольной извилины.

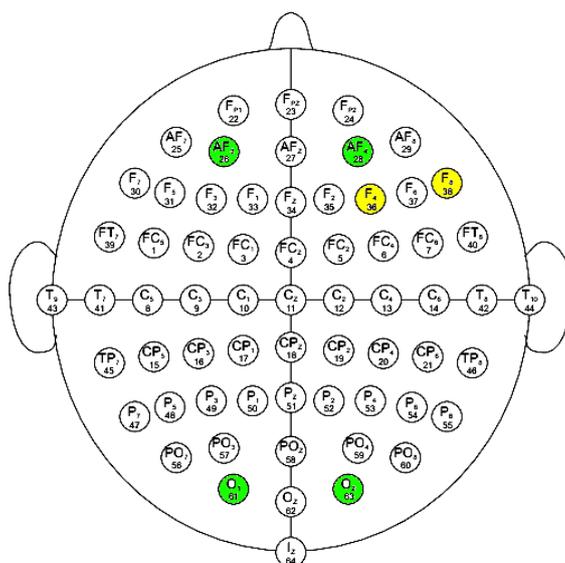


Рис. 16. Расположение электродов, фиксировавших периодическую активность в ходе эксперимента

9. Заключение

Основной вывод — доказана пригодность устройства Emotiv Eroc EEG для использования в связке с экзоскелетом. У электроэнцефалографа такого класса:

- электроды расположены достаточно правильно для фиксации активности зон мозга, “ответственных” за руки и ноги;
- достаточно количество электродов для фиксации сигналов, интересующих пользователей экзоскелета в первую очередь.

В ходе работы написано асинхронное приложение, способное управлять экзоскелетом при помощи анализа бинарных данных ЭЭГ. Его применение подтверждает сделанный вывод.

Список литературы

1. Официальный сайт производителя бионических протезов – bebionic.com
2. Patient leaves University of Michigan hospital without a human heart – uofmhealth.org/news/archive/201501/patient-leaves-university-michigan-hospital-without-human
3. Aliseychik A.P., Orlov I.A., Kolesnichenko E.Yu., Pavlovsky V.E., Pavlovsky V.V., Platonov A.K. BioMech Rehabilitation Exoskeleton: Models, Control, Design, Experiments, Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie, 2016, vol.17, no.10
4. Бабский Е.Б., Косицкий Г.И., Ходоров Б.И. Физиология человека, М: Медицина, 1985. – 20 с.
5. Зенков Л.Р. – Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии – М.: МЕДпресс-информ, 2002 – С. 11-18.
6. Официальный сайт производителя НКИ Emotiv – emotiv.com

7. Blackrock microsystems – производитель нейрооборудования – blackrockmicro.com
8. Nature: – Restoring cortical control of functional movement in a human with quadriplegia – 2016, ноябрь, № 533 – С. 247-259.
9. Brain Products GmbH – производитель нейрооборудования – brainproducts.com
10. REX Bionics – производитель экзоскелетных комплексов – rexbionics.com
11. Journal of Neural Engineering A lower limb exoskeleton control system based on steady state visual evoked potentials – 2014, том 12, № 5
12. Николаев С.Г. Практикум по клинической электромиографии. Издание второе, переработанное и дополненное, Иваново: Иван.гос.мед.академия, 2003. – 9 с.
13. Nature: сайт еженед.научн.журн. – News: First paralysed person to be 'reanimated' offers neuroscience insights – nature.com/news/first-paralysed-person-to-be-reanimatedoffers-neuroscience-insights-1.19749)
14. Официальный сайт библиотеки PyQt – riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro
15. Официальный сайт библиотеки PyQtGraph – pyqtgraph.org
16. Официальная документация Asyncio – docs.python.org/3/library/asyncio.html
17. Репозиторий проекта Quamash на Github – github.com/harvimt/quamash
18. Официальная документация ORM Peewee – peewee-orm.com/en/latest
19. PyCrypto на Python Package Index – pypi.python.org/pypi/pycrypto
20. Официальный сайт библиотеки Scikit-learn – scikit-learn.org/stable
21. Официальная документация модуля unittest – docs.python.org/3/library/unittest.html
22. Живолупов С.А., Самарцев И.Н. – Нейропластичность: патофизиологические аспекты и возможности терапевтической модуляции// Журнал неврологии и психиатрии, 4, 2009. – С. 78-83.
23. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. H. – The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction – New York: Springer Verlag, 2001.
24. Воронцов К.В. Лекции по методу опорных векторов. 2007.
25. Cichosz Pawel. Data mining algorithms: explained using R. – John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
26. Xindong Wu, Vipin Kumar. The Top Ten Algorithms in Data Mining. Taylor & Francis Group, LLC, 2009.
27. Penfield W., Rasmussen T. The cerebral cortex of man. New York:Macmillan, 1950.
28. Penfield W., Boldrey E. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. // Brain, 60, P. 389-443.

Оглавление

1. Введение	3
2. Экзоскелет БиоМех	3
3. Постановка задачи	4
4. Технологии	4
4.1. Электроэнцефалография (ЭЭГ)	4
4.2. “Интерфейс мозг-компьютер” (ИМК)	6
4.3. Emotiv Eroc EEG	6
5. Обзор мировой практики	7
5.1. Экзоскелет “Илья Муромец” (ННГУ им. Лобачевского)	7
5.2. Система нервного шунтирования (NBS) (Университет штата Огайо и Мемориальный институт Баттеля)	8
5.3. Система управления нижними конечностями (Корейский и Берлинский университеты)	9
6. Особенности изученных проектов	10
7. Авторская реализация	11
7.1. База данных	12
7.2. Сбор данных	13
7.3. Машинное обучение. Интеллектуальная компонента	13
7.4. Интерфейс	14
8. Картирование мозга	16
9. Заключение	18
Список литературы	18