Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт компьютерных наук и технологий

Кафедра компьютерных систем и программных технологий

Диссертация допущена к защите  
 зав. кафедрой

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.М. Ицыксон

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017 г.

**ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание ученой степени   
МАГИСТРА**

Тема: **Разработка системы определения психоэмоционального состояния пользователя на основе данных ЭЭГ   
с использованием биологической обратной связи**

Направление: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника   
Магистерская программа: 09.04.01.14 – Проектирование аппаратно-программных средств вычислительной техники

|  |  |
| --- | --- |
| Выполнил студент гр. 63501/2 | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Перминов А.А. |
| Научный руководитель,  доц. к.т.н. | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Болсуновская М.В. |
| Консультант по нормоконтролю,  ст. преподаватель | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.А. Нестеров |

Санкт-Петербург

2017

РЕФЕРАТ

Отчет, ?? стр., ?? рис., ?? табл., ?? ист., ?? прил.

Ключевые слова:

Тезисы:

ABSTRACTSame

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

Институт информационных технологий и управления

Кафедра компьютерные системы и программные технологии

УТВЕРЖДАЮ

«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 201 г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись)

**ЗАДАНИЕ**

**НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ**

студенту Перминову Александру Александровичу

1. Тема проекта (работы): Разработка системы определения психоэмоционального состояния пользователя на основе данных ЭЭГ с использованием биологической обратной связи

2. Срок сдачи студентом законченного проекта (работы): 05 июня 2017 года

3. Исходные данные к проекту (работе):

- Целевые платформы: Android;

- Требования к отображению: схематический вид;

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

1. Введение.

2. Анализ технических требований заказчика на разработку АПК для проверки ПА.

3. Описание АПК для проверки ПА.

4. Проектирование автоматизированного рабочего места электромеханика.

5. Выбор способа реализации функций и разработка программы АРМ электромеханика.

6. Перспективы развития.

7. Заключение.

5. Консультанты по проекту (с указанием относящихся к ним разделов проекта, работы):

Нестеров С.А. – консультант по нормоконтролю

6. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 201 года\_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_(Болсуновская М.В.)\_

Задание принял к исполнению «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 201 г.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись студента)

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 9](#_Toc483521200)

[1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ 11](#_Toc483521201)

[1.1. Модели эмоций 11](#_Toc483521202)

[1.2. Алгоритмы 17](#_Toc483521203)

[1.3. Фрактальная размерность 22](#_Toc483521204)

[1.4. Существующие аналоги 25](#_Toc483521205)

[1.5. Цель и задачи 28](#_Toc483521206)

[2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ 29](#_Toc483521207)

[2.1. Требования 29](#_Toc483521208)

[2.2. Компоненты 33](#_Toc483521209)

[2.3. Взаимодействие 34](#_Toc483521210)

[2.4. Обработчик данных ЭЭГ 36](#_Toc483521211)

[2.5. Работа с администрирующим устройством 36](#_Toc483521212)

[2.6. База данных 39](#_Toc483521213)

[2.7. Модуль определения состояния 44](#_Toc483521214)

[3. РАЗРАБОТКА 46](#_Toc483521215)

[3.1. Использованные средства 46](#_Toc483521216)

[3.2. Разработанная система классов 48](#_Toc483521217)

[3.3. Обработка данных ЭЭГ 49](#_Toc483521218)

[3.4. Работа с администрирующим устройством 52](#_Toc483521219)

[3.5. Работа с базой данных 54](#_Toc483521220)

[3.6. Алгоритм определения состояния 60](#_Toc483521221)

[4. ТЕСТИРОВАНИЕ 65](#_Toc483521222)

[4.1. Модульные тесты 65](#_Toc483521223)

[4.2. Тестирование базы данных 67](#_Toc483521224)

[4.3. Тестирование точности алгоритма 68](#_Toc483521225)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 69](#_Toc483521226)

[Приложение 1. Использованные источники 70](#_Toc483521227)

# ВВЕДЕНИЕ

Выявление и распознавание информации об эмоциональном состоянии это важная тема в области аффективных вычислений, то есть изучении человеческих аффектов с помощью технических систем и устройств. Изменения в эмоциональном состоянии часто проявляются в лицевых, речевых и жестовых проявлениях эмоций.

Так как изменение настроения сильно влияет на обычный эмоциональный процесс, распознавание эмоций это так же одна из приоритетных целей в области психопатологических расстройств. В последнее десятилетие были испробованы несколько подходов к получению надежной методики автоматического распознавания эмоционального состояния и настроения, начиная с лицевых выражений, поведенческих шаблонов и физиологических сигналов. Несмотря на это, в настоящий момент все еще практикуются простейшие эмоциональные опросники или интервьюирование для эмоциональной оценки. В медицине, например, диагностика патологий, связанных с эмоциональными изменениями производится в основном через опыт врача.

Несколько вычислительных методов для распознавания эмоций базируются на данных с центральной нервной системы, к примеру, электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Такие методы оправданы тем, что эмоции человека возникают в кортикальном слое, затем распространяясь на несколько зон для регуляции и ощущений. Префронтальная кора и миндалины, по сути, представляют собой два основных пути: аффективные проявления позволяют префронтальной коре распознать информацию о стимуле и передать ее в другие зоны центральной автономной системы, в ствол мозга, таким образом формируя подходящий по контексту ответ. Кратко представленные стимулы получают быстрый доступ к распознаванию эмоций через миндалину. Кроме того, было установлено, что зрительная кора вовлечена в эмоциональные реакции на разные стимулы. Нарушение этого процесса в центральной нервной системе ведет к патологиям, таким как ангедония, то есть потеря удовольствия или интереса к ранее желанному стимулу, что является ключевой особенностью депрессии и других серьезных эмоциональных расстройств.

Кроме серьезности проблемы, необходимо также отметить относительно широкую распространенность проблемы. Несколько эпидемиологических исследований сообщают о том, что 2 миллионам американцев диагностировали биполярное расстройство, а около 82,7 миллионам взрослых жителей Европы в возрасте от 18 до 65 диагностировано хотя бы одно психическое расстройство [1].

Таким образом, определение психоэмоционального состояния является актуальной проблемой. В рамках данной работы планируется разработать программное обеспечение для распознавания психоэмоционального состояния по данным ЭЭГ.

# АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

## Модели эмоций

Пытаясь решить проблему определения эмоций, необходимо задаться вопросом, как формализовать эмоцию, какие в принципе бывают эмоции и как их дифференцировать друг от друга.

Согласно теории «Discrete emotion theory», существует небольшое количество основных эмоций, своеобразный эмоциональный базис, который позволяет получить весь спектр существующих эмоций человека [5]. Однако ученые спорят по поводу того, какие эмоции и в каком количестве можно считать базовыми.

Имея эмоциональный базис, можно определить пространство, в котором будут определено все множество эмоций. От эмоционального базиса зависит размерность этого пространства. Как было сказано ранее, можно определить эмоциональный базис по-разному. И, как следствие, существуют разные пространственные модели эмоций. Перечислим и кратко опишем несколько из них.

**Circumplex model.** Разработана Джеймсом Расселом. Предлагает, что эмоции распределены в двухмерном пространстве, содержащем такие характеристики эмоций как валентность (тон) и интенсивность. Интенсивность располагается по вертикальной оси, валентность по горизонтальной оси. В данной модели эмоциональные состояния могут быть представлены на любом уровне валентности и интенсивности. В основном данная модель используется для тестовых стимуляций эмоциональной окраски слов, лицевых выражений и аффектных состояний.

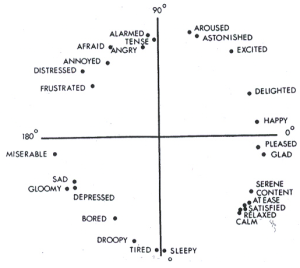


Рисунок 1.1. Circumplex model

**Векторная модель.** Предполагает, что каждая эмоция представляет собой вектор, указывающий на две точки, и имеет форму бумеранга. К примеру, положительное значение валентности сдвинет эмоцию вверх, отрицательное вниз. В этой модели высокоинтенсивные эмоции отличаются по валентности, тогда как низкоинтенсивные - менее нейтральными, и представлены ближе к центру. Модель используется для тестирования эмоциональной окраски слов и изображений.

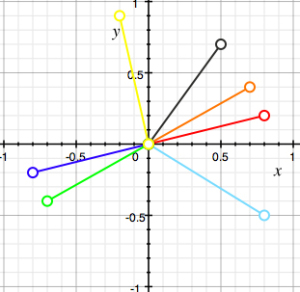


Рисунок 1.2. Векторная модель

**PANA model.** Модель положительная активация – отрицательная активация. Или согласованная модель эмоции, которая предполагает, что положительный аффект и отрицательный аффект – две отдельные системы. Как и в векторной модели, высокоинтенсивные эмоции определяются своей валентности, тогда как низкоинтенсивные менее нейтральны в плане тональности. Вертикальная ось представляет значения положительного аффекта от низкого до высокого, а горизонтальная представляет значения отрицательного аффекта от низкого до высокого.

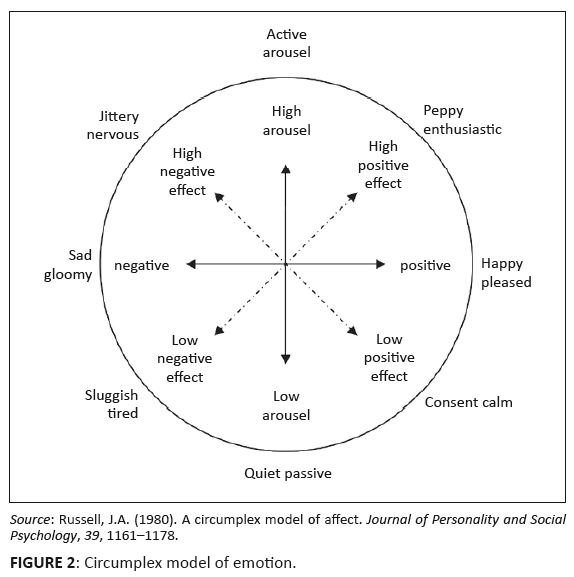


Рисунок 1.3. PANA model

Модель Плутчика. Предлагаемая трехмерная модель располагает эмоции концентрическими кругами, где внутренние круги представляют базовые эмоции, а внешние более сложные. При этом внешние круги сформированы смешением внутренних.

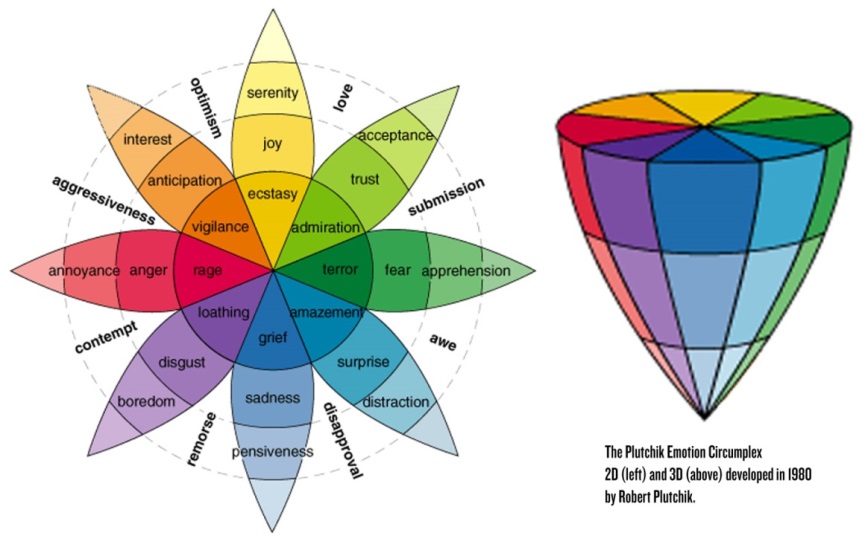


Рисунок 1.4. Модель Плутчика

Куб эмоций Лёвхейма. Лёвхейм предложил прямую зависимость между специфическими комбинациями уровней нейромедиаторов: допамина, норадреналина и серотонина и восемью базовыми эмоциями. Трехмерная модель представляет уровни нейромедиторов как стороны куба, а восемь основных эмоций распределены в углах этого куба.

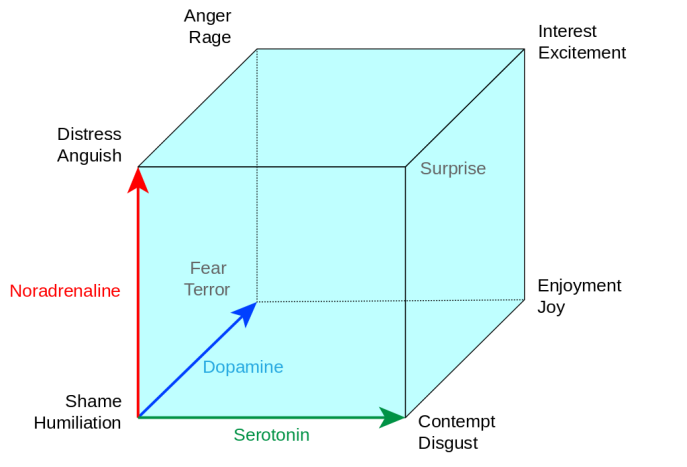


Рисунок 1.5. Куб Лёвхейма

Наиболее широко используемой на данный момент является указанная выше circumplex-модель, в измерениях которой располагаются возбуждение и тональность. Возбуждение на шкале варьируется от отсутствия возбуждения до восторга, тональность – от негативной до позитивной. Данная модель является предпочтительной в распознавании эмоций из-за того, что можно расположить отдельные эмоции в пространстве, даже в случае, когда они не имеют конкретного названия для испытываемого ощущения.

Сравнивая circumplex-модель с векторной моделью, можно выделить основное отличие [6]: возможность расположения эмоций, характеризующихся высокой интенсивностью и нейтральной тональностью, такими как возбуждение, удивление, вовлечение или любые другие, которые предполагают сильную выраженность, но не могут быть помечены как негативные или позитивные. Для определения таких эмоций требуется использование circumplex-модели, потому как в векторной модели полагается разделение положительных и отрицательных высокоинтенсивных эмоций.

Таким образом, можно сказать, что наиболее подходящей моделью в данной работе будет circumplex-модель, так как указанное выше преимущество в возможности размещения высокоинтенсивных состояний без яркой тональной оценки потребуется в реализации системы.

## Алгоритмы

Определив эмоции и существующие модели эмоций, необходимо сказать о том, как они выражаются с помощью тела человека. Согласно [5], реакции, вызываемые эмоциями, можно разделить на 3 группы: вегетативные реакции, мышечные реакции и импрессивно-экспрессивные реакции.

Эмоции характеризуются прежде всего нарушениями вегетативных функций. Последние являются, бесспорно, составной частью эмоций. Вегетативные проявления эмоций весьма разнообразны: изменение сопротивления кожи (КГР), частоты сердечных сокращений, кровяного давления, сужение и расширение сосудов, изменение скорости, амплитуды и ритма дыхания, температуры кожи, потоотделения, диаметра зрачка, секреции слюны; наблюдаются расстройства пищеварительной системы, сокращение и расслабление сфинктеров, меняются электрическая активность мозга, химический и гормональный состав крови, мочи, слюны, основной обмен. Однако нелишне подчеркнуть, что лишь некоторые изменения вегетативных функций могут рассматриваться как характерные проявления эмоций.

Исследования середины XX в. показали, что внешняя стимуляция (ощущение) трансформируется в тоническую, висцеральную и мышечную активность всего организма, представляющей аффективное жизни индивида. Эмоция начинается с гипертонуса, внешним проявлением которого является преобразование не использованной по назначению энергии в спазматические движения: смех, слезы, беспорядочные действия.

Из [5]: «Зафиксировано увеличение мышечного тонуса (электроды устанавливались во главе) при прослушивании детективной рассказы течение 10 мин. Одно только представление о движении вызывает увеличение электрической активности соответствующих групп мышц. За чрезмерной активации наблюдается тем более мышечное напряжение, чем сильнее стремление субъекта подавить вызванные стимуляцией движения; это напряжение еще больше усиливается под влиянием социальных и моральных запретов (напряжение юноши, не решается обнять девушку которая нравится ему; напряжение ребенка, не желает подчиниться определенной требованию)».

Периферические изменения, охватывающие весь организм при эмоциях, распространяются и наружу. Захватывая систему мышц лица и всего тела, они оказываются в выразительных движениях - В мимике (выразительные движения лица), пантомимике (выпадающие движения всего тела) и в голосовых реакциях (интонации и тембре голоса). Эмоциональные переживания выражаются не только в сильных движениях, но и в микродвижениях (тремор, реакции зрачков).

Как вывод, можно сказать, что эмоции проявляются множеством различных наблюдаемых реакций. Однако не все эти реакции удобно наблюдать в контексте вычислительной техники. А также выявление корреляции между детектируемыми реакциями является сложной задачей.

Кроме того, можно выделить основные способы определения эмоций: распознавание речи, распознавание лицевых выражений, распознавание жестов тела, физиологическое наблюдение. Область, которая занимается разработкой систем и устройств, предназначенных для распознавания, обработки и интерпретации эмоций называется «affective computing», что можно перевести как «аффективные вычисления».

Определение эмоций начинается с работы пассивных датчиков, которые захватывают данные о физическом состоянии пользователя или его поведении без интерпретации этих данных. К примеру, видеокамера может снимать лицевые выражения, жесты тела, тогда как микрофон захватывает речь. Другие датчики предоставляют данные, измеряя физиологические данные, такие как температура кожи, электрическая активность кожи и т.п.

Далее происходит распознавание в полученных данных некоторых паттернов с помощью техник машинного обучения, направленных на разные формы, такие как распознавание речи, обработка естественного языка или выявление лицевых выражений. На выходе получаются метки или координаты в одном из пространств валентность-интенсивность, о которых говорилось раньше.

Основную роль в распознавании эмоций играет выбранный классификатор. На данный момент наиболее часто используемые классификаторы это: линейный дискриминантный анализ, k-ый ближайший сосед, Гауссова смешанная модель, метод опорных векторов, искусственная нейронная сеть, дерево решений и скрытые сети Марковский моделей и т.д. Рассмотрим некоторые из них.

1. Линейный дискриминантный анализ – это метод статистики и машинного обучения, применяемый для нахождения линейных комбинаций признаков, наилучшим образом разделяющих два или более класса объектов или событий [12].   
   Линейный дискриминантный анализ используется для распознавания лиц как первый этап распознавания: ЛДА сокращает перед классификацией количество признаков до количества более удобного в работе. Новые размерности – это линейные комбинации значений пикселей. А новые размерности уже далее используются для классификации.

ЛДА в основном используется в случае, когда классы не перекрываются, однако изредка может работать и с частично перекрывающимися классами.

1. k-ый ближайший сосед – алгоритм для автоматической классификации объектов. Главным принципом данного метода является то, что классифицируемый объект присваивается тому классу, соседей которого больше среди соседей классифицируемого объекта.

Алгоритм может применяться для выборок с большим количеством атрибутов, но при этом необходимо определить функцию расстояния. Кроме того, необходимо нормализовать данные из-за разницы в диапазоне значений атрибутов.

При этом предполагается, что набор объектов, предварительно прошедших классификацию, уже есть.

1. Метод опорных векторов – набор алгоритмов обучения с учителем, использующихся в задачах классификации и регрессионного анализа. Основной идеей метода является перевод имеющихся векторов в пространство более высокой размерности и поиск разделяющей их гиперплоскости. При этом параллельно по обеим сторонам строятся гиперплоскости, а расстояние до двух параллельных гиперплоскостей (зазор) максимизируется для минимизации средней ошибки классификатора.

Данный метод широко применяется для классификации изображений, имеет высокую точность, для распознавания рукописного текста, используется также в биологии для распознавания белков по составу.

Минусами данной модели являются: требуется маркировка всех входных данных, напрямую применим только для задач с двумя классами (однако может быть расширен для многоклассовых задач), параметры получившейся модели сложно интерпретировать.

1. Скрытая модель Маркова – статистическая марковская модель, в которой моделируемая система принимается за марковский процесс со скрытыми состояниями. Вместо состояний наблюдаются выходные параметры. Каждое состояния марковской сети имеет вероятностное распределение среди возможных выходных значений. Таким образом, последовательность выходных значений сети дает представление о последовательности состояний внутри сети.

Скрытые модели Маркова хорошо зарекомендовали себя при автоматическом распознавании речи, так как способны описывать процессы и сигналы.

В данной работе не будет рассмотрено использование классификатора для распознавания эмоций по сигналам ЭЭГ, однако это является перспективным направлением при развитии проекта.

## Фрактальная размерность

В своей работе [3] исследователи из Кореи Kwang-Eun Ko, Hyun-Chang Yang, and Kwee-Bo Sim используют ЭЭГ сигналы, а точнее относительные степени сигналов ЭЭГ и Байесовскую сеть для определения эмоционального состояния человека.

В другой работе описывается, как используется фрактальная размерность для определения эмоционального состояния по данным ЭЭГ [4]. Исследователи из Сингапура проводят два эксперимента с прослушиванием музыкальных фрагментов несколькими людьми. В этот момент у них снимают данные ЭЭГ и просят отметить, какую из шести эмоций они испытывают при прослушивании. Затем, из значений ЭЭГ определяются значения фрактальной размерности, после чего устанавливается связь между значениями размерности и характеристиками модели: валентности и интенсивности. Таким образом, определив характеристики для эмоциональной модели, становится возможным определить конкретную эмоцию.

Фрактальная размерность – это один из способов определения размерности множества в метрическом пространстве. Фрактальная размерность была впервые введена как коэффициент, описывающий геометрически сложные формы, для которых детали являются более важными, чем полный рисунок [7]. Фрактальную размерность можно использовать как характеристику кривой. Кроме того, нелинейные системы, такие как данные ЭЭГ могут быть подвергнуты анализу при помощи фрактальной размерности [8]. В [9] также сказано, что фрактальная размерность отражает изменения в ЭЭГ сигнале, и более того, в [10] указано, что фрактальная размерность ЭЭГ сигнала мозга отличается при выполнении различных задач, связанных с умственной деятельностью.

Размерность Минковского — это один из способов задания фрактальной размерности ограниченного множества в метрическом пространстве, определяется следующим образом:

https://habrastorage.org/getpro/habr/post_images/52b/569/bde/52b569bdef3df13199731903cdcf9808.gif,

где N(ε) минимальное число множеств диаметра ε, которыми можно покрыть исходное множество.

Если предел не существует, то рассматривают верхний и нижний пределы и говорят соответственно о верхней и нижней размерности Минковского. Верхняя и нижняя размерности Минковского тесно связанны с размерностью Хаусдорфа, интуитивно это легко уловить по способу задания размерности. Обычно упомянутые три размерности совпадают, и только в очень специфичных случаях имеет смысл их различать, но это не наши случаи.

Размерность Минковского имеет так же другое название — box-counting dimension, из-за альтернативного способа ее определения, который кстати дает подсказку к способу вычисления этой самой размерности. Рассмотрим двумерный случай, хотя аналогичное определение распространяется и на n-мерный случай. Возьмем некоторое ограниченное множество в метрическом пространстве, например черно-белую картинку, нарисуем на ней равномерную сетку с шагом ε, и закрасим те ячейки сетки, которые содержат хотя бы один элемент искомого множества (Рисунок 1.6(a)). Далее начнем уменьшать размер ячеек, т.е. ε, тогда размерность Минковского будет вычисляться по вышеприведенной формуле, исследуя скорость изменения отношения логарифмов.

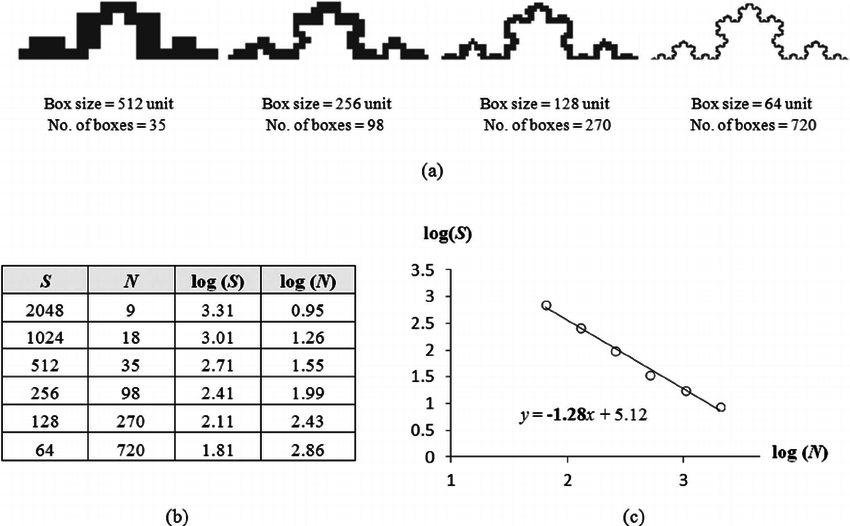


Рисунок 1.6. Пример применения размерности Минковского

Алгоритм выводится следующим образом: обозначим за Dbc приближенное значение размерности Минковского. Запишем определение этой размерности, убрав предел, его мы будем имитировать в итерациях, в которых будет изменяться размер ячеек. Если зафиксировать размеры ячеек ε и рассматривать Dbc как неизвестное, то легко заметить, что приведенное выражение является формулой линии. Мы можем запустить цикл по различным размерам ячеек ε и записывать результат. Давайте нанесем эти результаты на график и построим линию регрессии для полученного множества данных, это значение и будет являться аппроксимацией фрактальной размерности Минковского.

## Существующие решения

В результате поисков, среди существующих систем полностью готовых решений для разрешения проблемы распознавания эмоций посредством сигнала ЭЭГ не было найдено. Среди близких систем по технологии и идеологии можно выделить следующие проекты.

**MyndPlay**

Компания MyndPlay выпустила систему управления сюжетами видео фильмов и игр при помощи данных от нейроинтерфейса с аналогичным названием.

Плюсы решения:

* Использование существующей платформы NeuroSky TGAM, что обуславливает низкую цену разработки;
* Решение очень интересно для пользователей в развлекательных целях;
* Решение позволяет создавать фильмы с контролируемым сюжетом для домашнего просмотра в развлекательных и развивающих, образовательных целях;

Минусы решения:

* Реализация проекта на платформе PC;
* Работа по контролю контента с использованием данных без верификации;
* Отсутствие многопользовательских решений;
* Невозможность из-за ограничений возможностей платформы работать с эмоциональными и иными однозначно определяемыми состояниями НС человека.

Резюме: Проект с высоким потенциалом на момент разработки, однако, использование платформы с ограниченным потенциалом сдерживает возможности роста и развития в соответствии с требованиями рынка 2016 года для создания контролируемых сред, игровых сценариев и т.д.

**Проект «SenseLabs VERSUS»**

Новое техническое решение - нейроинтерфейс 2015 года выпуска. Основной акцент разработки - на играх/тренингах БОС ЭЭГ. Основой устройства является чип TGAM, разработанный компанией NeuroSky, который выявляет состояния «концентрации» и «медитации» пользователя. Важный минус, что все сервисы вынесены онлайн с оплатой ежемесячной подписки от 20 USD в месяц.

Плюсы разрабатываемого решения по сравнению с имеющимися:

* реализация на мобильной платформе (ОС Android) в отличие от программы MyndPlay (PC, Mac);
* использование общедоступного формата видео файлов в отличие от программы MyndPlay, где требуются специализированные файлы;
* возможность расширения используемой библиотеки видео контента;
* наличие функционала учетной записи пользователя для сохранения данных и возможности дальнейшего анализа;
* возможность подключения администрирующего устройства с целью наблюдения и контроля третьей стороной (например, врачом);
* алгоритм работы, при котором пользователь не только развлекается, а учится управлять своим состоянием за счет создания биологической обратной связи.

Минусы разрабатываемого решения по сравнению с имеющимися:

* отсутствие интерактивности при просмотре видео, как это реализовано в MyndPlay (изменение сюжета в зависимости от состояния);
* необходимость предварительного введения пользователя в алгоритм работы системы.

Таблица 1.1. Сравнение существующих аналогов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Название** | Muse | MyndPlay | SenseLabs VERSUS |
| **Данные** | Raw EEG at 220Hz, processed FFT, Absolute/relative band powers | Raw EEG at 512Hz,  processed power spectrum | Raw EEG data,  processed power spectrum |
| **API** | Android(Java),  Windows(C++ библиотека),  iOS (Objective-C) | Информация не найдена. Возможно, в разработке | Информация не найдена. Возможно, в разработке |
| **Платформа** | Windows, Android,  iOS | Windows, Mac,  Android, iOS | iOS, Android |
| **Цена** | $249.00 USD | £179.00 | Пока недоступно |

Подводя итог анализа существующих систем, можно сказать, что на рынке имеется достаточное количество готовых технических решений для снятия показаний данных ЭЭГ и элементарного отображения этой информации на экранах персональных компьютеров и смартфонов. Однако среди этих систем нет решения для определения психоэмоционального состояния. Используя готовое техническое решение, становится возможным разработать систему, связав готовые аппаратные компоненты при помощи программного обеспечения в систему для определения психоэмоционального состояния по данным ЭЭГ.

## Биологическая обратная связь

Биологическая обратная связь (БОС) – метод лечения и реабилитации, основанный на развитии у пациента навыков самоконтроля и саморегуляции различных функций организма для улучшения общего состояния [3].

Для применения метода биологической обратной связи необходимо в ходе сеанса с помощью приборов или компьютерных комплексов регистрировать физиологические показатели какой-либо функциональной системы организма или органа пациента, а затем отобразить полученную информацию для создания обратной связи посредством зрительных или звуковых сигналов.

Так как в данной работе планируется применить характеристику фрактальной размерности для классификации психоэмоционального состояния, то ее же и стоит применить для отображения и создания биологической обратной связи.

Таким образом, система не только позволит пользователю отчасти увидеть, как функционирует мозг, но и, используя специальные методические приемы, самостоятельно корректировать работу функциональных систем собственного организма, развивать навыки самоконтроля и саморегуляции с помощью скрытых физиологических резервов. При этом необходимо подчеркнуть, что речь идет о приобретении навыков самоконтроля, при котором пациент обучается тому, как помогать себе самостоятельно [3].

## Цель и задачи

Подводя итог изложенного выше, утвердим целью данной работы следующее: разработать систему определения психоэмоционального состояния пользователя на основе данных ЭЭГ, получаемых с гарнитуры Muse, с использованием биологической обратной связи для ОС Android.

При этом в работе решаются следующие задачи:

* получение данных ЭЭГ с гарнитуры MUSE,
* разработка алгоритма определения состояния пользователя по данным ЭЭГ,
* организация вывода на экран текущего состояния пользователя и видео контента,
* организация взаимодействия двух устройств по каналу связи Bluetooth.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

## 2.1. Требования

**Требования к аппаратной части системы**

Система должна обеспечивать:

* измерение и регистрацию подэлектродного сопротивления и межэлектродного потенциала непрерывно и синхронно с регистрацией биометрических параметров с частотой дискретизации не ниже 512 Гц;
* электропитание разрабатываемого АПК от встроенной аккумуляторной батареи с возможностью её подзарядки как через стандартный порт USB от ПК, так и от штатного, поставляемого в комплекте зарядного устройства с питанием от сети переменного тока 110­220 в 50/60 Гц;
* среднюю потребляемую мощность в рабочем режиме не более 0.5 ВТ;
* пиковую потребляемую мощность не более 1,5 ВТ;
* время автономной работы от аккумуляторной батареи не менее 2 часов.

Аппаратная часть должна также обеспечивать:

* Наличие возможности механического сопряжения 3D­очков и гарнитуры в единую конструкцию.
* Обеспечение плотного примыкания 3D­очков к области глаз.
* Сопряжение по Bluetooth гарнитуры и 3D­очков.
* Точечное приклеивание резинового профиля к 3D­очкам (с возможностью отсоединения при необходимости замены профиля).
* Наличие возможности использовать карту памяти для библиотеки сюжетов (объем – 8­16 Гбайт)
* Наличие дополнительного конструктивного элемента для приема и передачи аудиосигнала ­ стандартный разъем для наушников 3.5mm jack.

**Требования к программной части системы**

Реализовать алгоритм работы основного программы, при котором она находится в одном из двух режимов работы: состоянии «покоя», в котором воспроизводится видео контент и состоянии «тревоги», в котором пользователю предлагаются советы по снижению уровня тревожности.

Отобразить следующую информацию в основной программе в режиме покоя:

* видео контент, то есть видео файл, выбранный автоматически основной программой, либо с помощью администрирующей программы;
* значение характеристики, по которой определяется психоэмоциональное состояние, в виде полоски, меняющей цвет и размер по мере приближения к состоянию тревоги;
* состояние подключения гарнитуры MUSE в виде надписи «ПОДКЛЮЧЕНО» или «ОТКЛЮЧЕНО»;
* уровень заряда батареи гарнитуры MUSE в виде процентов от 1 до 100;
* качество сигнала с каждого из 4-ех датчиков в виде разноцветных кругов, скрываемых или отображаемых в зависимости от качества сигнала с датчиков;
* состояние подключения администрирующего устройства в виде надписи «ПОДКЛЮЧЕНО» или «ОТКЛЮЧЕНО».

Информация для отображения основной программой в режиме тревоги:

* значение характеристики, по которой определяется психоэмоциональное состояние, в виде полоски, меняющей цвет и размер по мере приближения к состоянию тревоги;
* заранее выбранное художественное изображение в качестве фона;
* надпись с советом по снижению уровня тревожности.

Реализовать алгоритм работы администрирующей программы, при котором при наличии подключения к основной программе отображается информация о сеансе, перечисленная ниже, а также возможно выполнить управление воспроизводимым контентом.

Информация для отображения администрирующей программой:

* состояние подключения к основной программе в виде строки «ПОДКЛЮЧЕНО» или «ОТКЛЮЧЕНО»;
* состояние подключения гарнитуры MUSE к основной программе в виде строки «ПОДКЛЮЧЕНО» или «ОТКЛЮЧЕНО»;
* уровень заряда батареи основного устройства в виде процентов от 1 до 100;
* уровень заряда гарнитуры MUSE в виде процентов от 1 до 100;
* качество прилегания датчиков гарнитуры MUSE в виде 4ех кругов, скрываемых или показываемых в зависимости от качества прилегания датчиков;
* название воспроизводимого в данный момент видео файла;
* длительность воспроизводимого в данный момент видео файла;
* метка времени текущего состояния воспроизведения видео файла;
* график характеристики, по которой определяется психоэмоциональное состояние.

Требования к функциям администрирующей программы по контролю за воспроизведением видео файлов:

* приостановка и воспроизведение приостановленного видео файла;
* переключение на следующий или предыдущий видео файл;
* перемотка воспроизводимого видео файла на конкретный момент времени;
* отображение списка всех доступных для воспроизведения видео файлов;
* воспроизведение конкретного выбранного из предыдущего списка видео файла.

Требования к функциям администрирующей программы по хранимой информации:

* создание и удаление учетных записей пользователей, точное описание данных которых будет указано далее;
* просмотр списка существующих учетных записей;
* просмотр списка проведенных сеансов использования для выбранной учетной записи;
* просмотр информации о конкретном сеансе использования, точное описание данных которого будет указано далее;
* внесение комментариев врача и указание процедуры, которая проводилась для пользователя во время сеанса использования.

## Компоненты

Аппаратная часть представляет собой следующую систему:

* устройство на базе ОС Android 5.0 в форм-факторе очков;
* устройство Muse - гарнитура, считывающая сигналы ЭЭГ с мозга и передающее их по каналу Bluetooth.

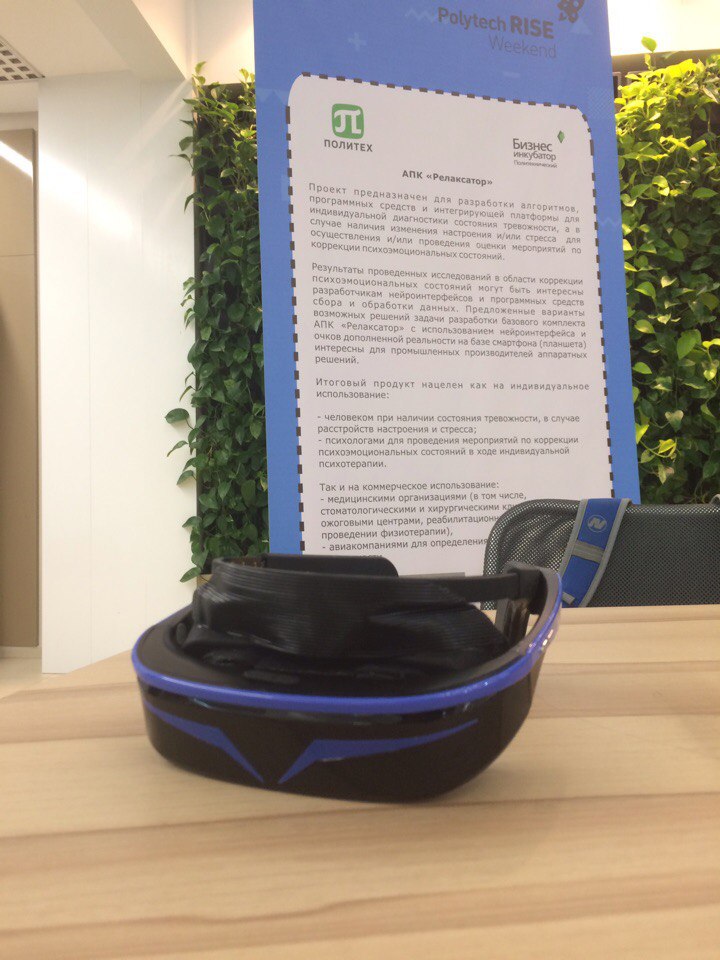
 

Рисунок 2.1. Аппаратная часть системы

Выбранные компоненты удовлетворяют всем перечисленным требованиям к аппаратной части системы, перечисленным ранее. Их конструкция позволяет объединить их в единое устройство.

Программная часть разрабатываемой системы будет состоять из нескольких компонентов:

* основная программа для ОС Android, реализующая связь с гарнитурой Muse, в которую входят:
  + модуль определения психоэмоционального состояния по данным ЭЭГ;
  + модуль визуализации, ответственный за воспроизведение видео контента;
  + хранилище видео контента (раздел на физическом носителе с видео файлами, либо дополнительная надстройка над разделом в виде БД, размечающее видео контент по эмоциональной окраске, предполагаемым группам пользователей);
  + обработчик пакетов команд от администрирующей программы, который формирует ответ в виде пакета данных о текущем состоянии, либо передающий сигналы управления модулю визуализации;
* администрирующая программа для ОС Android, в которую входят:
  + модуль, обрабатывающий пакеты данных от основной программы;
  + модуль управления, ответственный за визуализацию данных из пакетов от основной программы, а также обрабатывающий команды, поступающие от пользователя с помощью графического интерфейса;
  + модуль управления учетными записями пользователей.

## Средства разработки

* Среда разработки Android Studio, Android SDK
* Язык Java
* СУБД SQLite
* Библиотеки:
  + ORMlite
  + Gson
  + MPAndroidChart

Выбор программных средств продиктован в первую очередь выбранной платформой для разработки: операционной системой Android. Среда разработки Android Studio является стандартным инструментом при разработке для указанной ОС, поставляемой компанией Google, разработчиком операционной системы. Со средой разработки поставляется и комплект средств разработки Android SDK. Язык программирования Java так же продиктован официальным SDK, кроме того, он является одним из самых популярных языков программирования в мире, хорошо документирован, а также обладает огромной базой примеров использования. СУБД SQLite выбрана ввиду встроенной в ОС Android и реализованной в Android SDK поддержки данной СУБД.

Реализовывать работу с базой данных из программы планируется при помощи библиотеки ORMLite, реализующей технологию Object-Relation Mapping для языка Java. Библиотекой поддерживается ряд СУБД, среди которых SQLite [11], а также существует адаптированная версия библиотеки для ОС Android.

С помощью библиотеки MPAndroidChart в программе будут выводиться графики для данных. Библиотека выбрана из-за хорошей документации и наличия достаточного объема примеров использования.

## Взаимодействие

Описать взаимодействие компонентов систем можно с помощью схемы движения данных (см. Рисунок 2.1). На ней представлены перечисленные выше компоненты, информационные связи и данные, которые передаются по этим связям. Также указаны точки входа информации с устройств и выводимой на них информации.

Основной путь движения данных выглядит так:

1. с гарнитуры Muse по каналу Bluetooth передаются данные ЭЭГ;
2. программа принимает Bluetooth-пакеты с данными ЭЭГ, обрабатывает их и сохраняет в памяти;
3. компонент определения состояния по обработанным данным ЭЭГ вычисляет состояние человека и сохраняет его в памяти;
4. компонент визуализации выводит видеоконтент на основании текущего состояния.

Еще один путь движения данных:

1. Модуль управления в администрирующей программе отправляет пакет команды к основной программе.
2. Обработчик команд в основной программе выполняет требуемые действия, формирует пакет данных и отправляет ответ модулю управления.
3. Обработчик пакетов данных в администрирующей программе передает данные сеанса из пакета модулю управления

Модуль управления обновляет данные на графическом интерфейсе администрирующего устройства.



Рисунок 2.2. Схема движения данных

## Обработчик данных ЭЭГ

Гарнитура Muse является Bluetooth-устройством, по принципу работы схожим с датчиком. Во время своей работы устройство отправляет пакеты данных по каналу Bluetooth в формате OSC (Open Sound Protocol). О разборе пакетов в формате OSC нет необходимости заботиться: эта функция ложится на предоставляемый официальный SDK гарнитуры Muse.

Пакеты от гарнитуры бывают двух типов:

1. пакеты с данными о соединении и самом устройстве,
2. пакеты с данными о сигналах ЭЭГ и внутренних параметрах устройства.

Следовательно, кроме установления подключения с гарнитурой Muse, необходимо будет зарегистрировать обработчики для пакетов каждого из двух типов. После регистрации обработчиков и соединения с гарнитурой, для каждого принятого пакета данных будет выполнен соответствующий обратный вызов. Данные из пакета сохранятся в буфер для последующей обработки.

## Работа с администрирующим устройством

Взаимодействие с администрирующей программе происходит по модели сервер-клиент посредством собственного протокола. Нижележащим протоколом является протокол связи Bluetooth. Клиент инициирует подключение к серверу, после установления соединения отправляет запросы в виде пакетов команд. Пакеты команд принимаются сервером, на них формируется ответ – пакет данных и отправляется обратно клиенту. По протоколу передаются пакеты команд как запросы от клиента (администрирующей программы) и пакеты данных как ответы от сервера (основной программы).



Рисунок 2.3. Схема взаимодействия программ c помощью собственного протокола

В таблицах ниже описаны составляющие пакета команд (Таблица 2.1) и возможные команды (Таблица 2.2), пакета данных (  
Таблица 2.3).

Таблица 2.1. Описание пакета команд

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Поле** | **Тип** | **Описание** |
| command | Command | Команда управления |
| arguments | Object[] | Аргументы команды |

Таблица 2.2. Описание возможных команд пакета управления

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Команда** | **Аргументы** | **Описание** |
| GET | отсутствуют | получение актуального пакета данных |
| PLAY | целочисленный идентификатор | проиграть файл с указанным идентификатором |
| PAUSE | отсутствуют | приостановить или продолжить воспроизведение видео |
| LIST | отсутствуют | получение списка доступных для воспроизведения видео файлов |
| REWIND | новая позиция для воспроизведения | установить текущую позицию проигрывания видео |
| NEXT | отсутствуют | воспроизвести следующий видео файл |
| PREV | отсутствуют | воспроизвести предыдущий видео файл |

Таблица 2.3. Описание пакета данных

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Поле** | **Тип** | **Описание** |
| headsetBatteryPercent | Integer | Процент заряда батареи устройства, где запущено основная программа |
| museState | Boolean | Статус подключения гарнитуры Muse |
| museBatteryPercent | Integer | Процент заряда батареи гарнитуры Muse |
| museSensorsState | Boolean[] | Качество прилегания датчиков гарнитуры Muse |
| alphaPct | Integer | Вычисленный процент альфа-ритма |
| betaPct | Integer | Вычисленный процент бета-ритма |
| isPanic | boolean | Состояния человека |
| videoName | String | Название проигрываемого видео файла |
| videoState | Boolean | Проигрывается ли видео файл |
| duration | Integer | Длительность проигрываемого файла в секундах |
| currentPosition | Integer | Текущая позиция проигрываемого файла в секундах |
| videoList | ArrayList<VideoItem> | Список доступных для воспроизведения видео файлов |

Таблица 2.4. Описание полей типа VideoItem

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Поле** | **Тип** | **Описание** |
| id | int | Идентификатор |
| name | String | Название |
| duration | int | Длительность в секундах |

## База данных

Администрирующая программа предоставляет доступ к управлению учетными записями пользователей, хранящихся в БД. Прежде чем сеанс использования устройства начинается, происходит выбор учетной записи пользователя. В учетной записи пользователя записаны основные данные о нем, а так же информация о проведенных сеансах. В информации о сеансе входит изменяющееся во времени психоэмоциональное состояние пользователя.

Сформулируем требования по хранению данных.

Пользователь:

* имя,
* фамилия,
* дата рождения,
* пол.

Сеанс использования:

* начало сеанса,
* окончание сеанса,
* данные о состоянии пользователя в каждый момент времени,
* проводимая процедура,
* комментарий врача,
* набор воспроизводимых видео файлов во время сеанса с временными метками.

Возрастные категории:

* нижний порог возрастной категории,
* верхний порог возрастной категории.

Тэги:

* название.

Данные о видео:

* название,
* длительность,
* имя файла,
* набор подходящих возрастных категорий,
* набор тэгов, характеризующих видео.

Получившиеся требования к хранимым данным можно формализовать следующим образом (см. Рисунок 2.3. Схема связей в БД).



Рисунок 2.4. Схема связей в БД

В Таблица 2.5 описаны колонки и соответствующие типы данных, которые содержит таблица пользователей. Первичный ключ таблицы – колонка id, целое число. Имя и фамилия – колонки firstname и lastname – строкового типа (text). Колонка, хранящая дату рождения тоже строкового типа, данные будут преобразовываться с помощью средств языка программирования.

Таблица 2.5. Описание полей таблицы User

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип | Может быть нулем |
| id | integer | N |
| firstname | text | N |
| lastname | text | N |
| birthdate | text | N |
| sex | text | N |

В Таблица 2.6 хранятся данные о сеансе использования. Целочисленный идентификатор – колонка id – первичный ключ таблицы. Колонка user\_id – внешний ключ - ссылка таблицу Users, идентифицирующая пользователя, который проводил сеанс использования. Время начала и окончания - колонки start и finish соответственно – строкового типа. Колонка data – двоичного типа. В ней будет храниться сериализованный массив данных сеанса. Колонки action и comment предназначены для описания проводимой при сеансе использования процедуры и комментария, могут отсутствовать.

Таблица 2.6. Описание столбцов таблицы Seance

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип | Может быть нулем |
| id | integer | N |
| user\_id | integer | N |
| start | text | N |
| finish | text | N |
| data | blob | N |
| action | text | Y |
| comment | text | Y |

Таблица 2.7 содержит данные об имеющихся возрастных категориях. Возрастная категория имеет идентификатор (целочисленная колонка id, являющейся первичным ключом таблицы).

Таблица 2.7. Описание столбцов таблицы AgeCategory

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип | Может быть нулем |
| id | integer | N |
| top | integer | N |
| bottom | integer | N |

Таблица 2.8 содержит список используемых в системе тэгов для характеристики видео контента, используемого системой. Колонка id – целочисленный первичный ключ таблицы.

Таблица 2.8. Описание столбцов таблицы Tag

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип | Может быть нулем |
| id | integer | N |
| name | text | N |

Используемый системой видео контент описан в Таблица 2.9. Целочисленный первичный ключ – колонка id. Название видео в произвольном формате содержится в колонке name. Путь к файлу содержится в колонке filename. Длительность видео контента в секундах хранится в колонке duration.

Таблица 2.9. Описание столбцов таблицы Video

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип | Может быть нулем |
| id | integer | N |
| name | text | N |
| filename | text | N |
| duration | integer | N |

Таблица 2.10 является реализацией отношения многие ко многим между тэгами и видео контентом. Один и тот же тэг может быть присвоен нескольким видео, при этом одно видео может иметь несколько характеризующих его тэгов.

Таблица 2.10. Описание столбцов таблицы VideoTag

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип | Может быть нулем |
| video\_id | integer | N |
| tag\_id | integer | N |

Таблица 2.11 аналогично предыдущей таблице является реализацией отношения многие ко многим между видео контентом и возрастными категориями. Одно и то же видео может быть рекомендовано к просмотру нескольким возрастным категориям, при этом одна и та же возрастная категория может быть присвоена нескольким видео.

Таблица 2.11. Описание столбцов таблицы VideoAgeCategory

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип | Может быть нулем |
| video\_id | integer | N |
| agecategory\_id | integer | N |

Таблица 2.12 тоже является реализацией отношения многие ко многим между сеансами и видео. Однако в ней так же содержится дополнительная информация о том, в какой временной промежуток воспроизводилось указанное видео.

Таблица 2.12. Описание столбцов таблицы SeanceVideo

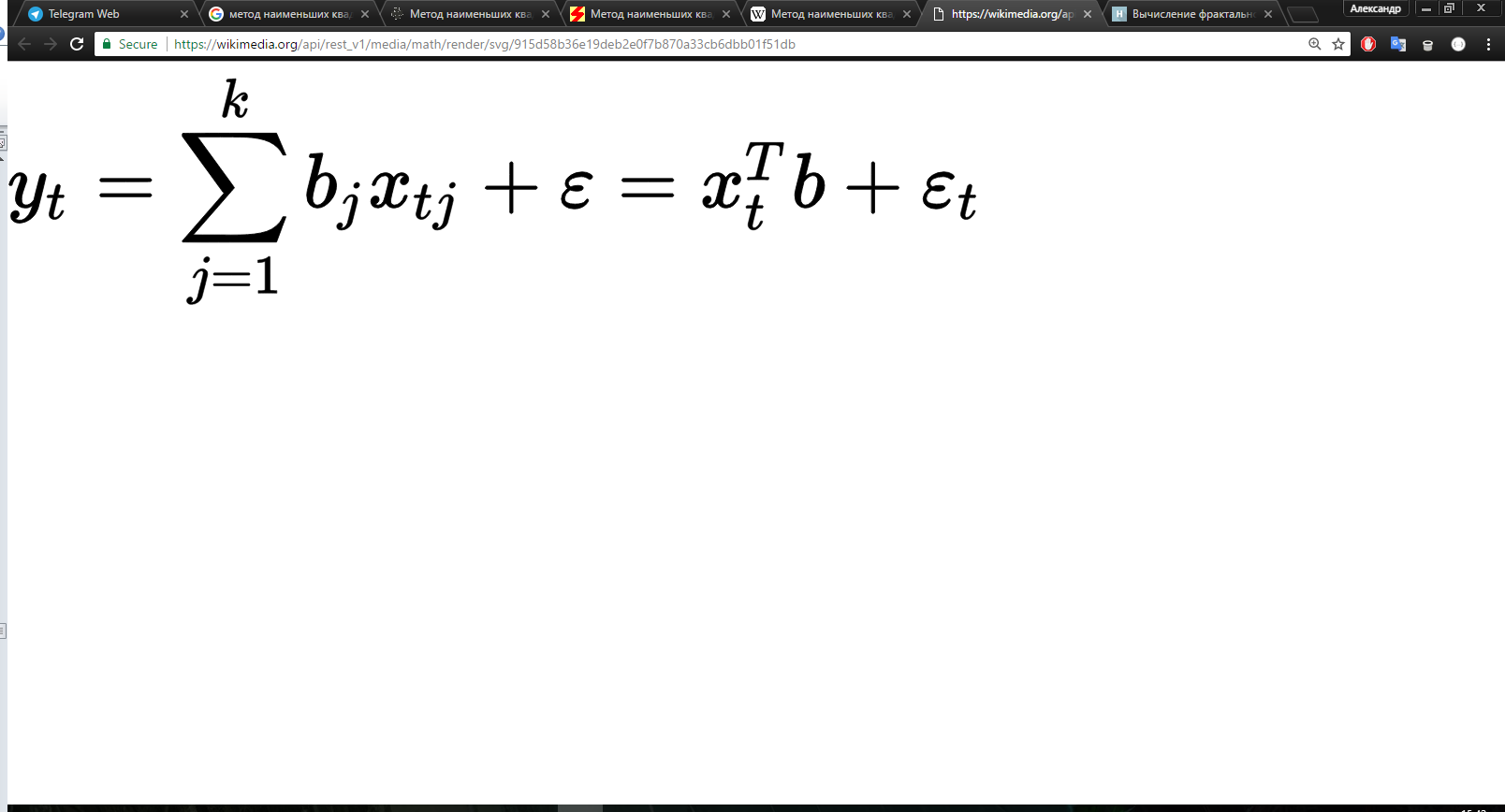
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип | Может быть нулем |
| seance\_id | integer | N |
| video\_id | integer | N |
| seance\_timestart | integer | N |
| seance\_timeend | integer | N |

## 2.7. Модуль определения состояния

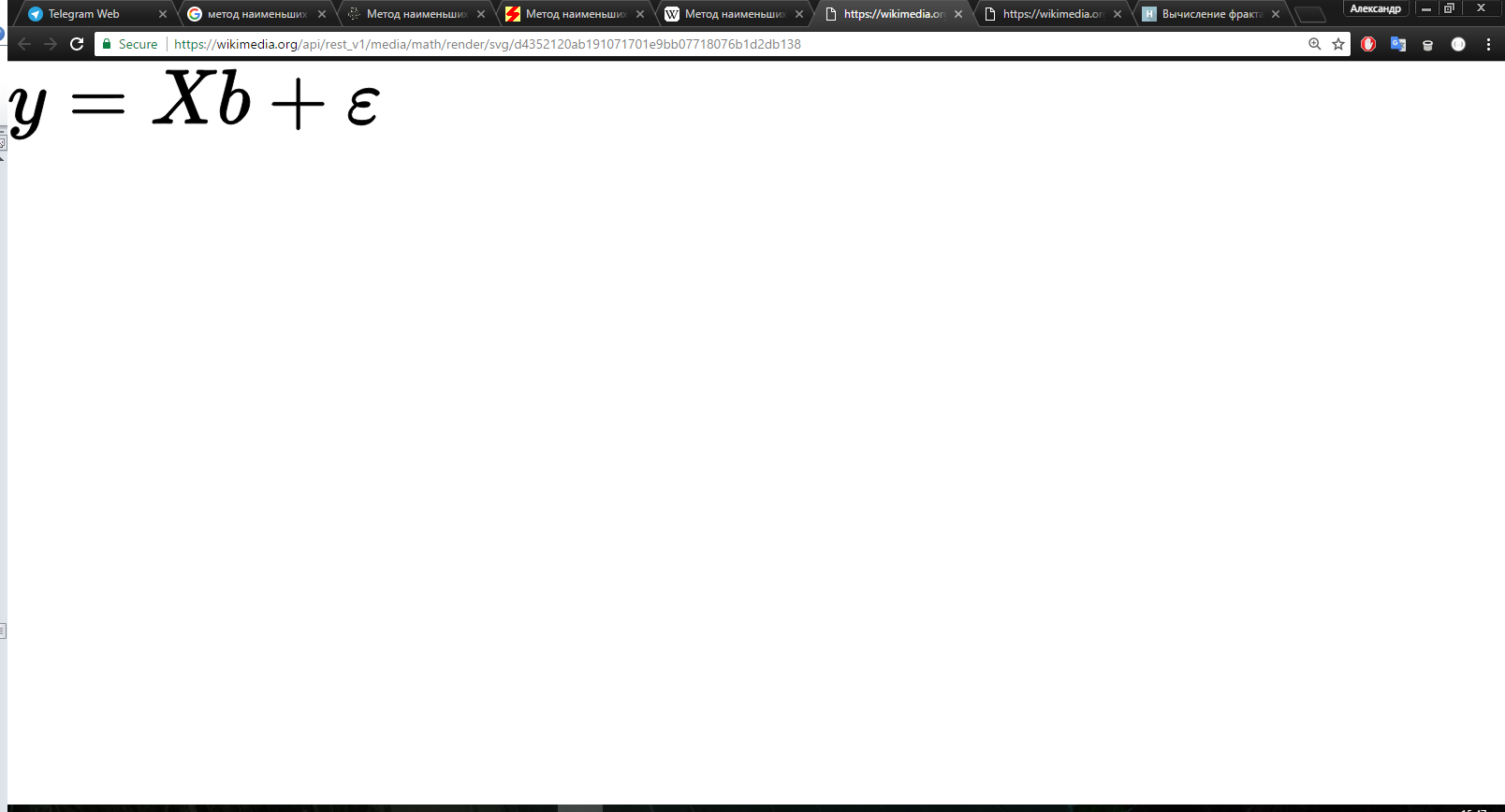
Модуль определения состояния представляет собой реализацию алгоритма, на вход которому подаются обработанные данные ЭЭГ с соответствующего модуля. Ранее было сказано, что в данной работе будет использоваться такая характеристика кривой как фрактальная размерность.

Схема алгоритма вычисления фрактальной размерности представлена ниже (Рисунок 2.5). Для вычисления нам необходимы будут две процедуры, начнем с линейной регрессии. Вообще решить задачу линейной регрессии можно различными способами, чаще всего для этого используется метод градиентного спуска и метод наименьших квадратов (Normal equations). Воспользуемся методом наименьших квадратов.

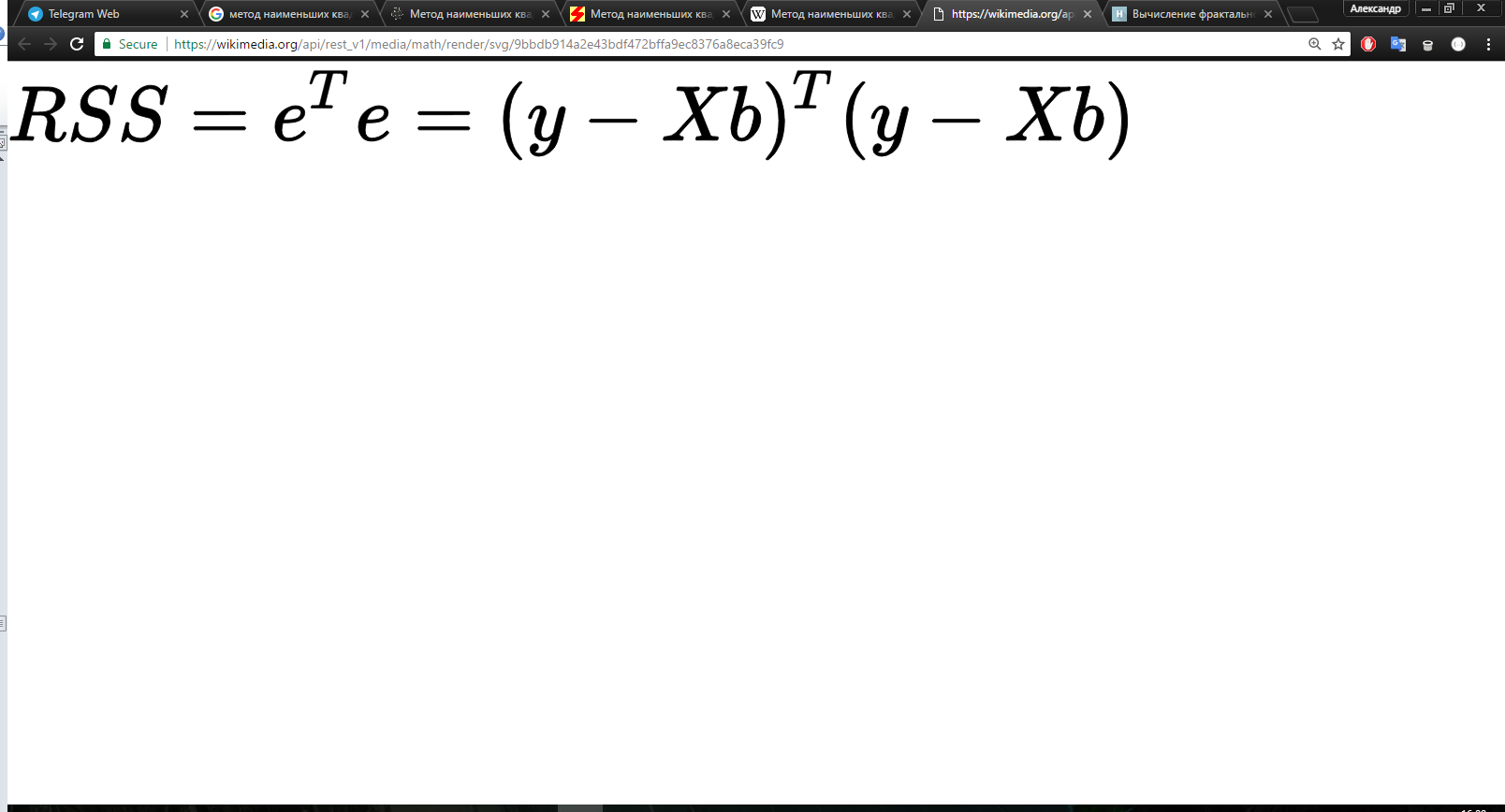
Регрессионная зависимость является линейной:



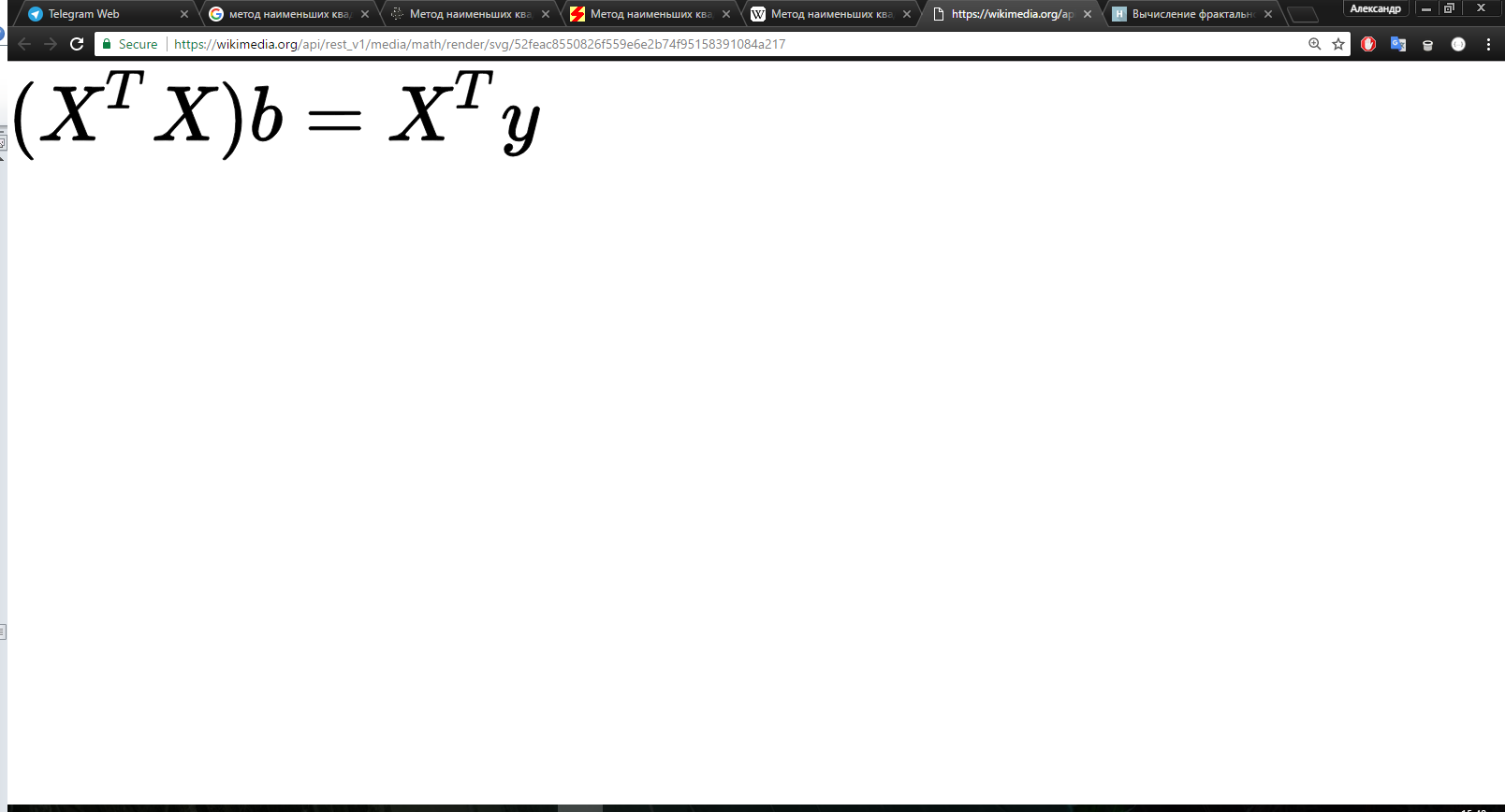
Пусть *y* — вектор-столбец наблюдений объясняемой переменной, а X{\displaystyle X} — это {\displaystyle ({n\times k})}матрица наблюдений факторов. Матричное представление линейной модели имеет вид:



Сумма квадратов остатков регрессии будет равна



Дифференцируя эту функцию по вектору параметров b и приравняв производные к нулю, получим систему уравнений (в матричной форме):



Если в модель включена константа (как обычно), то в левом верхнем углу матрицы системы уравнений находится количество наблюдений, а в остальных элементах первой строки и первого столбца — просто суммы значений переменных, и первый элемент правой части системы — сумма всех y.

В векторизованном виде решение линейной регрессии записывается следующим образом:

https://habrastorage.org/getpro/habr/post_images/ba0/494/a48/ba0494a48f1f5526a4fa5d942f915596.gif,

где тета – искомый вектор параметров, матрица X размером 2 на 2 описана ранее, а вектор y – вектор значений экспериментов.

Обратную матрицу будем искать по следующей формуле:

https://habrastorage.org/getpro/habr/post_images/6d7/d80/211/6d7d802118df6e04102af9359b1a36e5.png



Рисунок 2.5. Схема алгоритма вычисления фрактальной размерности

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ

## Система классов

Проще всего описать разработанную систему классов, посмотрев на указанную ранее схему компонентов системы. Укажем, какие классы были разработаны, какие поля и методы содержат, к какому модулю относятся, а также краткое описание их предназначения.



Рисунок 3.1. Схема компонентов системы

## Обработка данных ЭЭГ

Проектирование системы классов начинается с точки входа данных с устройства. Такой точкой является гарнитура Muse с каналом связи Bluetooth. К данной гарнитуре на официальном сайте предлагается SDK для языка Java. Основным классом для работы в ОС Android является класс Activity. Для выделения функциональности, связанной с соединением гарнитуры Muse и устройства на ОС Android, опишем абстрактного наследника класса Activity под названием MuseActivity.

Класс MuseManager позволяет получать список обнаруженных устройств (гарнитур Muse). Используя статические методы класса MuseManager, можем получить ссылку на экземпляр класса Muse, который представляет собой устройство Muse. После того как устройство для подключения будет выбрано, ссылка на него сохраняется в поле класса MainActivity.



Рисунок 3.2. Схема классов для соединения с гарнитурой Muse

Для установления соединения с гарнитурой Muse необходимо выполнить следующие действия:

1. Установить контекст для работы классу MuseManager, чтобы указать, из какой активности в данный момент происходит работа.
2. Зарегистрировать обработчики пакетов от устройства для двух типов пакетов соответственно: conectionListener, dataListener.
3. Получить ссылку на экземпляр класса muse, сохранив ее в соответствующее поле класса MuseActivity.
4. Запустить обмен пакетами с выбранной гарнитурой, инициировав тем самым подключение к гарнитуре.

Данные действия производятся при создании экземпляра класса MuseActivity в методе setupMuseManager, который вызывается в методе onCreate.

Листинг 3.1. Метод setupMuseManager

|  |
| --- |
| private void setupMuseManager() {  MuseManager.setContext(this);  MuseManager.registerMuseListeners(  connectionListener,   dataListener);  muse = MuseManager.getMuse();  muse.runAsynchronously();  } |

После запуска обмена пакетами, в зарегистрированном ранее экземпляре класса ConnectionListener будет вызван переопределенный метод receiveMuseConnectionPacket, в котором будет вызван метод updateConectionStatus для обновления поля connectionState класса MuseActivity. В этом поле хранится текущее состояние подключения к гарнитуре.

Листинг 3.2. Класс ConnectionListener

|  |
| --- |
| public ConnectionListener(final WeakReference<MuseActivity> activityRef) {  this.activityRef = activityRef;  }   @Override  public void receiveMuseConnectionPacket(  final MuseConnectionPacket p,   final Muse muse)  {  final ConnectionState current = p.getCurrentConnectionState();  MuseActivity museActivity = activityRef.get();  museActivity.updateConnectionStatus(current);  } } |

После того как статус подключения изменится на CONNECTED, в ранее зарегистрированном экземпляре класса DataListener будет вызываться метод receiveMuseDataPacket. В этом методе, в зависимости от типа пришедшего пакета с данными от гарнитуры, будет вызван соответствующий метод класса MuseActivity: processMuseDataRelative для пакета типа ALPHA\_RELATIVE или BETA\_RELATIVE, processMuseDataBattery для пакета типа BATTERY, processMuseDataSensors для пакета типа IS\_GOOD.

Листинг 3.3. Методы класса MuseActivity для обработки данных от гарнитуры Muse

|  |
| --- |
| public void processMuseDataSensors(ArrayList<Double> packetValues) {  for (int i = 0; i < CHANNEL\_COUNT; i++) {  sensorsStateBuffer[i] = packetValues.get(i) > 0.5;  }  sensorsStale = true;  }  public void processMuseDataBattery(MuseDataPacket p) {  batteryValue = p.getBatteryValue(Battery.CHARGE\_PERCENTAGE\_REMAINING);  batteryStale = true;  }  public void processMuseDataRelative(ArrayList<Double> packetValues, int relativeIndex) {  fillRelativeBufferWith(relativeIndex, packetValues);  relativeStale = true;  } |

## Работа с администрирующим устройством

Для работы по каналу Bluetooth был написан класс BluetoothService, берущий на себя всю работу по управлению подключением к устройству и передаче пакетов данных. Класс берет на себя как роль сервера, так и роль клиента в подключении по каналу Bluetooth.

Для использования класса вне зависимости от роли необходимо инициализировать экземпляр класса с помощью вызова конструктора, имеющего следующую сигнатуру:

Листинг 3.4. Сигнатура конструктора класса BluetoothService

|  |
| --- |
| public BluetoothService(Handler handler, BluetoothAdapter btAdapter); |

Ссылка на класс типа Handler требуется для обеспечения механизма обратного вызова при изменении состояния соединения, либо обработки полученного пакета. Ссылка на BluetothAdapter требуется для непосредственно работы с аппаратной частью Bluetooh-компонента устройства.

Для использования инициализированного экземпляра класса BluetoothService в роли сервера, вызывается метод startServer(), внутри которого производится запуск потока (вложенный класс AcceptThread) для прослушивания запросов на подключение. Работа потока заключается в вызове блокирующего метода accept для получения экземпляра сокета подключенного устройства или обработке ошибок, возникших при этом. При успешном подключении и получении экземпляра сокета, производится запуск потока для принятия сообщений от устройства (вложенный класс ConnectedThread).

Листинг 3.5. Сигнатура метода start класса BluetoothService

|  |
| --- |
| public synchronized void startServer(); |

Класс ConnectedThread получает из сокета ссылки на входной и выходной потоки для связи с устройством, а затем, пока состояние подключения позволяет, считывает из входного потока данные и реализует механизм обратного вызова с помощью ссылки на экземпляр класса Handler, переданного ранее в конструкторе класса BluetoothService. Кроме того класс ConnectedThread предоставляет метод write для записи данных в выходной поток сокета подключенного устройства.

Для использования инициализированного экземпляра класса BluetoothService в роли клиента необходимо вызвать метод connectToServer, имеющий следующую сигнатуру:

Листинг 3.6. Сигнатура метода connectToServer

|  |
| --- |
| public synchronized void connectToServer(BluetoothDevice device); |

Ссылка на устройство для установления подключения затем передается в конструктор вложенного класса ConnectThread, представляющего собой поток для установления подключения. При успешном установлении подключения, далее инициализируется класс экземпляр класса ConnectedThread. Работа этого класса описана выше и аналогична случаю с выполнением экземпляра класса BluetoothService роли сервера: пакеты данных считываются через входной поток, полученный из сокета подключенного устройства, при успешном получении информации из потока, происходит уведомление об этом с помощью переданной ранее в конструкторе класса BluetoothService ссылки на экземпляр класса Handler.



Рисунок 3.3. Схема работы класса BluetoothService

## Работа с базой данных

Библиотека ORMLite предполагает активное использование аннотации при объявлении классов, хранимых в базе данных. Через аннотации можно задать и тип данных поля, что очень удобно и не размазывает код, связанный с моделью по проекту. Проект поддерживает множество типов данных и вариантов их хранения. Например, для java.util.Date предусмотрен как числовой, так и строковый вариант. К недостаткам можно отнести необходимость реализовывать OrmLiteSqliteOpenHelper, через который вы сможете получить DAO объект и взаимодействовать с ORM. Использование отдельных DAO объектов избавляет от необходимости наследовать классы ваших сущностей от объектов сторонних библиотек и позволяет гибко управлять кэшем.

Благодаря использованию библиотеки ORMlite, работа с базой данных сильно упрощается. Для интеграции библиотеки в систему необходимо аннотировать классы, которые будут храниться в базе данных. Каждый класс будет представлять собой таблицу, строки в которой хранят сериализованную информацию о данных конкретного экземпляра класса.

Аннотация DatabaseTable используется для указания на то, что класс будет храниться в БД, а также позволяет задать имя таблицы. Чтобы указать, какие поля класса требуется хранить, используется аннотация DatabaseField. Для данной аннотации предусмотрен ряд параметров, которые позволяют более гибко сконфигурировать хранимые поля. В разрабатываемо системе используются следующие параметры:

* generatedId

булевское значение для спецификации поля как автоматически генерируемого идентификатора. Значение по умолчанию – false. Только одно поле в классе может иметь значение true. Этот параметр сообщает базе данных, что необходимо автоматически сгенерировать значение для данного поля, когда происходит операция вставки.

* canBeNull

булевское значение для спецификации возможности записи значения NULL. По умолчанию true.

* foreign

булевское значение для спецификации поля как внешнего ключа. По умолчанию is false. Поле не должно быть примитивного типа. Тип поля должен иметь идентификатор, который хранится в данной таблице.

* foreignAutoRefresh

булевское значение для автоматического получения всего связанного объекта, а не только идентификатора.

Приведем пример использования аннотаций на примере класса User. Класс помечены аннотацией DatabaseTable с указанием имени таблицы «users». Поле id, выполняющее роль идентификатора и первичного ключа для таблицы, аннотировано как DatabaseField(generatedId = true), остальные строковые поля, такие как firstName, lastName, sex, birthDateStr аннотированы как DatabaseField(canBeNull = false), так как предполагается их наличие в любом хранимом экземпляре класса User. Поле seances помечено как ForeignCollectionField, что позволит извлечь связанные данные, относящиеся к конкретной записи.

Листинг 3.7. Класс User

|  |
| --- |
| @DatabaseTable(tableName = "users") public class User {   @DatabaseField(generatedId = true)  public int id;   @DatabaseField(canBeNull = false)  public String firstName;   @DatabaseField(canBeNull = false)  public String lastName;   @DatabaseField(canBeNull = false)  public String sex;   @DatabaseField(canBeNull = false)  public String birthDateStr;   @ForeignCollectionField()  public ForeignCollection<Seance> seances; } |

Когда все классы аннотированы, необходимо описать класс VideoMoodDbHelper, который будет контролировать создание самой базы данных. Он является наследником класса OrmLiteSqliteOpenHelper. В нем переопределен метод onCreate, который вызывается для БД каждый раз при создании. В методе необходимо явно создать все требуемые таблицы для всех требуемых классов с помощью статического метода createTable класса TableUtils из библиотеки ORMlite. Все типы, которые будут созданы, хранятся в виде массива значений в поле entityClasses.

Листинг 3.8. Метод onCreate класса VideoMoodDbHelper

|  |
| --- |
| private static final Class[] entityClasses = new Class[]{  AgeCategory.class,  Tag.class,  User.class,  Video.class,  VideoTag.class,  VideoAgeCategory.class,  Seance.class,  SeanceVideo.class };  @Override public void onCreate(SQLiteDatabase database, ConnectionSource connectionSource) {  try {  for (int i = 0; i < entityClasses.length; i++) {  Class entityClass = entityClasses[i];  TableUtils.createTable(connectionSource, entityClass);  }  } catch (SQLException e) {  Log.e(VideoMoodDbHelper.class.getName(), "Can't create database", e);  throw new RuntimeException(e);  } } |

В классе присутствует поле DATABASE\_NAME для указания имени файла хранимой базы данных, а также поле DATABASE\_VERSION для указания текущей версии схемы базы данных. Версия схемы базы данных требуется в случае, если схема был изменена (добавлялись или удалялись новые таблицы, менялись связи между имеющимися таблицами, менялся состав хранимых полей какой-либо таблицы). В таком случае различие версий будет выявлено, и с помощью переопределения метода onUpgrade будут выполнены все требуемые операции по обновлению схемы.

Описанный класс VideoMoobDbHelper затем будет использоваться при объявлении любого класса активности, работающего с базой данных. Такой класс активности будет наследоваться от обобщенного класса OrmLiteBaseActivity<THelper>. В качестве типа THelper будет указан VideoMoodDbHelper. Это позволит активности точно знать, с какой базой данных она работает, и предоставлять объект этого типа при вызове метода getHelper.

Пример инициализации DAO-объекта приведен в листинге ниже. В методе onCreate вызывается метод getHelper класса OrmLiteBaseActivity, возвращающий ссылку на класс VideoMoodDbHelper. Вызвав затем метод getUserDao определенный в классе VideoMoodDbHelper, получим DAO-объект для управления записями типа User в базе данных.

Листинг 3.9. Пример инициализации DAO-объекта в классе UserActivity

|  |
| --- |
| public class UsersActivity extends OrmLiteBaseActivity<VideoMoodDbHelper> {  private Dao<User, Integer> userDao;  @Override  protected void onCreate(@Nullable Bundle savedInstanceState) {  super.onCreate(savedInstanceState);   try {  userDao = getHelper().getUserDao();  } catch (SQLException e) {  e.printStackTrace();  }  ...  } |

Имея экземпляр класса-наследника OrmLiteSqliteOpenHelper, можем получить DAO (Data Access Object) для конкретного типа, хранимого в базе данных. Например обобщенный тип Dao<TEntity, TKey> выглядит как Dao<User, Integer> для случая, когда необходимо получить объекты типа User, идентификатором которых является поле с целочисленным типом. DAO-объекты позволяют производить CRUD-операции (Create, Read, Update, Delete) с объектами указанного типа.

Например, класс UsersActivity использует DAO-объект типа Dao<User, Integer>, ссылка на который сохранена в поле usersDao, следующим образом:

* userDao.create(userToCreate) – для создания нового пользователя в БД;
* userDao.queryForAll() – для получения всех существующих пользователей из БД;
* userDao.remove(userToRemove) – для удаления указанного пользователя из БД.

Пример использования объекта userDao приведен в листинге ниже.

Листинг 3.10. Метод confirmCreateUser

|  |
| --- |
| private void confirmCreateUser() {  User userToCreate = new User();  ...  try {  if (userDao.create(userToCreate) == 0)  throw new Exception("No user created");  if (userToCreate.id != -1)  userAdapter.add(userToCreate);  else  throw new Exception("No user created");  } catch (Exception e) {  e.printStackTrace();  }  } |

## Алгоритм определения состояния

Все вычисления, необходимые для определения значения, производятся в методах класса MoodResolver. Его реализация приведена ниже. Класс содержит метод boxCountingDimension, который для заданного массива значений в цикле для всего диапазона значений размеров, наносит сетку, маркирует ячейки этой сетки, в которых находятся значения массива, а также вычисляет значения, по которым считается предел. В результате метод вернет хэш-таблицу значений логарифма обратного квадрата площади ячейки сетки на значения количества занятых ячеек.

Метод normalEquations2d берет значения хэш-таблицы, интерпретируя их как координаты точек и решает задачу линейной регрессии посредством использования метода наименьших квадратов. В результате метод вернет вектор из двух значений: значение коэффициента прямой линейной регрессии и смещение. Первое значение и является искомым значением размерности Минковского.

Листинг 3.11. Класс MoodResolver

|  |
| --- |
| public class MoodResolver {   public static int minY = 0;  public static int maxY = 1700;   public static double[] normalEquations2d(double[] y, double[] x) {  // x^t \* x  double[][] xtx = new double[2][2];  for (int i = 0; (i < x.length); i++) {  xtx[0][1] = (xtx[0][ 1] + x[i]);  xtx[0][0] = (xtx[0][ 0] + (x[i] \* x[i]));  }   xtx[1][0] = xtx[0][1];  xtx[1][1] = x.length;   // inverse  double[][] xtxInv = new double[2][2];  double d = (1 / ((xtx[0][0] \* xtx[1][1]) - (xtx[1][0] \* xtx[0][1])));  xtxInv[0][0] = (xtx[1][1] \* d);  xtxInv[0][1] = ((xtx[0][1] \* d) \* -1);  xtxInv[1][0] = ((xtx[1][0] \* d) \* -1);  xtxInv[1][1] = (xtx[0][0] \* d);   // times x^t  double[][] xtxInvxt = new double[2][x.length];  for (int i = 0; (i < 2); i++) {  for (int j = 0; (j < x.length); j++) {  xtxInvxt[i][j] = ((xtxInv[i][0] \* x[j]) + xtxInv[i][1]);  }  }   // times y  double[] theta = new double[2];  for (int i = 0; (i < 2); i++) {  for (int j = 0; (j < x.length); j++) {  theta[i] = (theta[i] + (xtxInvxt[i][j] \* y[j]));  }  }   return theta;  }   private static boolean isInRange(float value, int left, int right) {  return value > left && value <= right;  }   /\*\*  \* Box-counting algorithm  \* @param plot - timeline of values  \* @param startSize - initial size of square of grid  \* @param finishSize - final size of square of grid  \* @param step - step of changing of the grid  \* @return map Math.Log(1/b) to Math.Log(a) where b is square length size, a is the number of intersection of image with grid squares  \*/  public static HashMap<Double, Double> boxCountingDimension(float[] plot, int startSize, int finishSize, int step)  {  //length size - number of boxes  HashMap<Double, Double> baList = new HashMap<>();   int bwHeight = maxY - minY;   for (int boxSize = startSize; boxSize <= finishSize; boxSize += step)  {  boolean[][] filledBoxes = fillBoxes(plot, boxSize, bwHeight);   int a = 0;  for (int i = 0; i < filledBoxes.length; i++)  for (int j = 0; j < filledBoxes[0].length; j++)  if (filledBoxes[i][j])  a++;   baList.put(Math.log(1d/boxSize), Math.log(a));  }   return baList;  }   /\*\*  \* create array of boxes depend on timeline plot size and box size, mark boxes where values of plot are presented  \* @param plot - array of timeline plot values  \* @param boxSize - size of box to divide plot  \* @param plotHeight - plot height  \* @return array of marked boxes  \*/  private static boolean[][] fillBoxes(float[] plot, int boxSize, int plotHeight) {  int plotWidth = plot.length;   int hCount = plotHeight/boxSize;  int wCount = plotWidth/boxSize;   if (plotWidth > wCount\*boxSize)  wCount += 1;  if (plotHeight > hCount\*boxSize)  hCount += 1;   boolean[][] filledBoxes = new boolean[wCount][hCount];  for (int i = 0; i < plot.length; i++) {  float value = plot[i];  int yBox = (int) (value/boxSize);  int left = yBox\*boxSize;  int right = left + boxSize;  if (isInRange(value, left, right)) {  int xBox = i/boxSize;  filledBoxes[xBox][yBox] = true;  }  }  return filledBoxes;  }   public static double[] getThetaValues(float[] curve, int startSize, int endSize, int step) {  HashMap<Double, Double> baList = boxCountingDimension(curve, startSize, endSize, step);  double[] y = new double[baList.size()];  double[] x = new double[baList.size()];  int c = 0;  for (double key : baList.keySet())  {  y[c] = baList.get(key);  x[c] = key;  c++;  }  double[] theta = normalEquations2d(y, x);  return theta;  } } |

# ТЕСТИРОВАНИЕ

В данной работе под тестированием подразумевается несколько аспектов проверки. Первая часть предполагает написание автоматических модульных тестов для проверки работоспособности реализованных классов и их методов. Вторая часть предполагает тестирование реализованного алгоритма определения психоэмоционального состояния по данным ЭЭГ для определения числовых характеристик точности определения состояния. Третья часть предполагает проверку части системы, работающей с базой данных, то есть тестирование правильности работы функций добавления, изменения и удаления записей в базе данных. Кроме того, под тестированием подразумевается проверка реализации поставленных в разделе 2.1 требований.

## Модульные тесты

Как известно, основная идея написания модульных тестов состоит в том, чтобы создать тесты для большинства реализованных функции или методов. Благодаря этому становится возможным достаточно быстро проверить, не появились ли ошибки в уже оттестированных местах после модификации кода, а кроме того упрощает обнаружение и устранение таких ошибок.

Для создания модульных тестов предполагается использование библиотеки JUnit – библиотеки для модульного тестирования программного обеспечения на языке Java.

Возьмем пример из описания библиотеки [1]:

Листинг 4.1. Пример описания тестового объекта

|  |
| --- |
| import static org.junit.Assert.assertEquals;  import org.junit.Test;  public class CalculatorTest {  @Test  public void evaluatesExpression() {  Calculator calculator = new Calculator();  int sum = calculator.evaluate("1+2+3");  assertEquals(6, sum);  }  } |

В нем описан класс CalculatorTest, содержащий в себе метод evaluatesExpression. Метод аннотирован с помощью аннотации @Test, что позволит затем библиотеке выполнить все аннотированные таким образом методы и вывести результат тестирования по каждому из них.

## Тестирование базы данных

Когда программа исполняется, конечный пользователь в основном использует CRUD-операции, предоставляемые инструментом баз данных:

* Create (Создать) — операция «Create» выполняется, когда пользователь сохраняет любую новую транзакцию.
* Retrieve (Получить) — операция «Retrieve» выполняется, когда пользователь производит поиск или просмотр любой сохраненной транзакции.
* Update (Обновить) — операция «Update» выполняется, когда пользователь редактирует или изменяет существующую запись.
* Delete (Удалить) — операция «Delete» выполняется, когда пользователь удаляет любую запись из системы.

При проведении тестирования базы данных необходимо проверить несколько аспектов ее работы.

1. DataMapping: необходимо убедиться, что связи в БД соответствуют проектной документации; для CRUD-операций необходимо проверить, что таблицы и записи в них обновляются, когда пользователь с помощью программы вызывает методы для создания, чтения, изменения и удаления сущностей.
2. ACID-свойства транзакций: атомарность, последовательность, изоляцию и прочность. Необходимо проверить эти четыре свойства.
3. Целостность данных: так как разные модули по-разному используют одни и те же данные, необходимо убедиться, что последнее состояние данных отображается везде одинаково.

## Тестирование точности алгоритма

Тестирование точности алгоритма является самым сложным в данной работе. Предполагается, что на входе для тестирования есть некоторый набор входных данных: это данные с ЭЭГ, записанные у нескольких человек в разных психоэмоциональных состояниях при помощи гарнитуры Muse. Затем эти данные обрабатываются созданным в рамках данной работы алгоритмом. На выходе будет как минимум последовательность эмоциональных состояний с привязкой к временным меткам, возможно также дополнительные числовые промежуточные данные, полученные в результате работы алгоритма.

Затем появляется два варианта:

1. Входные данные были размечены человеком, указаны примерные эмоциональные состояния в определенные моменты времени.
2. Входные данные не размечены человеком.

Во втором случае результат тестирования точности алгоритма полностью зависит от человека и не проверяем автоматически. Только человек сможет сказать, насколько точно работает алгоритм.

В первом случае тестирование точности можно автоматизировать, сравнивая разметку исходных данных и результат работы с алгоритма. В результате получится процент ошибок и процент верного определения психоэмоционального состояния.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Статья всемирной организации здравоохранения о депрессии.   
   URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs369/ru/>
2. Сайт библиотеки для модульного тестирования ПО на языке Java – JUnit. URL: <https://github.com/junit-team/junit4/wiki/Getting-started>, на 19.04.2017 г.
3. Статья «Биологическая обратная связь» на сайте СПб НИПНИ им. В.М. Бехтерева. URL: <http://bekhterev.ru/clinika/fizioterapiya/bos/index.php>
4. Kwang-Eun Ko, Hyun-Chang Yang, and Kwee-Bo Sim, «Emotion Recognition using EEG Signals with Relative Power Values and

Bayesian Network», International Journal of Control, Automation, and Systems (2009).

1. Yisi Liu, Olga Sourina, and Minh Khoa Nguyen, «Real-time EEG-based Human Emotion Recognition and Visualization», International Conference on Cyberworlds (2010).
2. Экспериментальная психология. / Ред.-сост. П. Фресс, Ж. Пиаже. М.: Прогресс, 1975. С.133–142
3. David C. Rubin, Jennifer M. Talarico «A Comparison of Dimensional Models of Emotion: Evidence from Emotions, Prototypical Events, Autobiographical Memories, and Words», 2009,   
   URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2784275/>
4. Alexanderson Albers , Alexanderson Gerald L. Benoit Mandelbrot: In his own words // Mathematical people : profiles and interviews. — Wellesley, Mass: AK Peters, 2008. — 214 p.
5. A. Accardo, M. Affinito, M. Carrozzi, and F. Bouquet, «Use of the fractal dimension for the analysis of electroencephalographic time series» Biological Cybernetics, vol. 77, 1997, pp. 339-350.
6. N. Pradhan and D. Narayana Dutt, «Use of running fractal dimension for the analysis of changing patterns in electroencephalograms» Computers in Biology and Medicine, vol. 23, 1993, pp. 381-388
7. W. Lutzenberger, T. Elbert, N. Birbaumer, W. J. Ray, and H. Schupp, «The scalp distribution of the fractal dimension of the EEG and its variation with mental tasks» Brain Topography, vol. 5, 1992, pp. 27-34
8. Сайт библиотеки ORMlite URL: <http://ormlite.com/>
9. Статья «Линейный дискриминантный анализ». URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Линейный_дискриминантный_анализ>