Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт информационных технологий и управления

Кафедра компьютерных наук и технологий

Пояснительная записка

к магистерской работе

на тему «Разработка системы определения психоэмоционального состояния пользователя на основе данных ЭЭГ с использованием биологической обратной связи»

Выполнил: Перминов Александр Александрович

Научный руководитель: доц. к.т.н. Болсуновская Марина Владимировна

Санкт-Петербург

2017

**Оглавление**

[1. Обзор 3](#_Toc483166320)

[Актуальность 3](#_Toc483166321)

[Постановка задачи 4](#_Toc483166322)

[Алгоритмы 10](#_Toc483166323)

[Фрактальная размерность 14](#_Toc483166324)

[Существующие аналоги 18](#_Toc483166325)

[MyndPlay 18](#_Toc483166326)

[Проект «SenseLabs VERSUS» 19](#_Toc483166327)

[2. Проектирование 21](#_Toc483166328)

[Компоненты 21](#_Toc483166329)

[Взаимодействие 21](#_Toc483166330)

[Обработчик биоданных 22](#_Toc483166331)

[Работа с администрирующим устройством 23](#_Toc483166332)

[База данных 27](#_Toc483166333)

[3. Разработка 33](#_Toc483166334)

[Использованные средства 33](#_Toc483166335)

[Обработка биоданных 34](#_Toc483166336)

[Работа с администрирующим устройством 35](#_Toc483166337)

[Работа с базой данных 37](#_Toc483166338)

[Алгоритм определения состояния 40](#_Toc483166339)

[4. Тестирование 44](#_Toc483166340)

[Модульные тесты 44](#_Toc483166341)

[Тестирование базы данных 46](#_Toc483166342)

[Тестирование точности алгоритма 47](#_Toc483166343)

[Приложение 1. Использованные источники 48](#_Toc483166344)

# Обзор

## Актуальность

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. Такие изменения могут быть обобщены среди культур, или могут быть специфичны для конкретной культуры.

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, к примеру, диагностика патологий, связанных с эмоциональными изменениями производится в основном через опыт врача. 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.

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.

Таким образом, целью данной работы является разработать систему определения психоэмоционального состояния пользователя на основе данных ЭЭГ с использованием биологической обратной связи.

## Постановка задачи

С помощью программного обеспечения необходимо связать следующие компоненты:

* гарнитура Muse для снятия данных ЭЭГ
* очки виртуальной реальности на основе ОС Android с модулем Bluetooth
* любое устройство на ОС Android

Результатом работы должно стать приложение для ОС Android, удовлетворяющее перечисленным ниже требованиям.

Ставя перед собой задачу 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 [3]. 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.

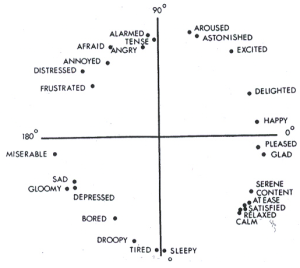


Рисунок 1. Circumplex model

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.

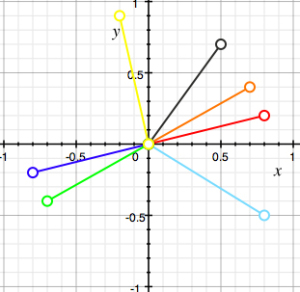


Рисунок 2. Векторная модель

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.

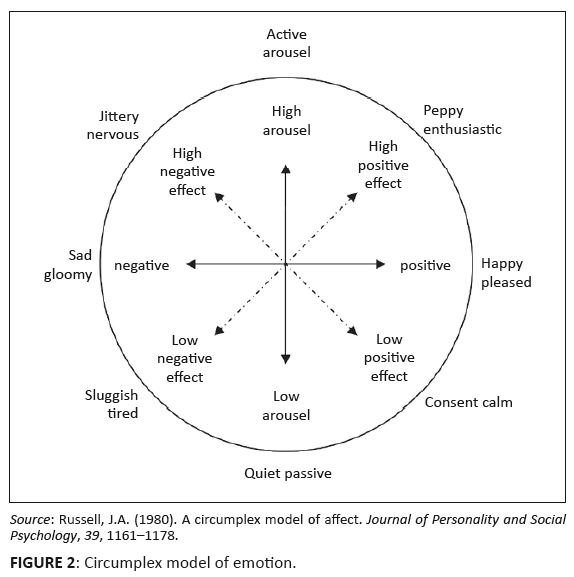


Рисунок 3. PANA model

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.

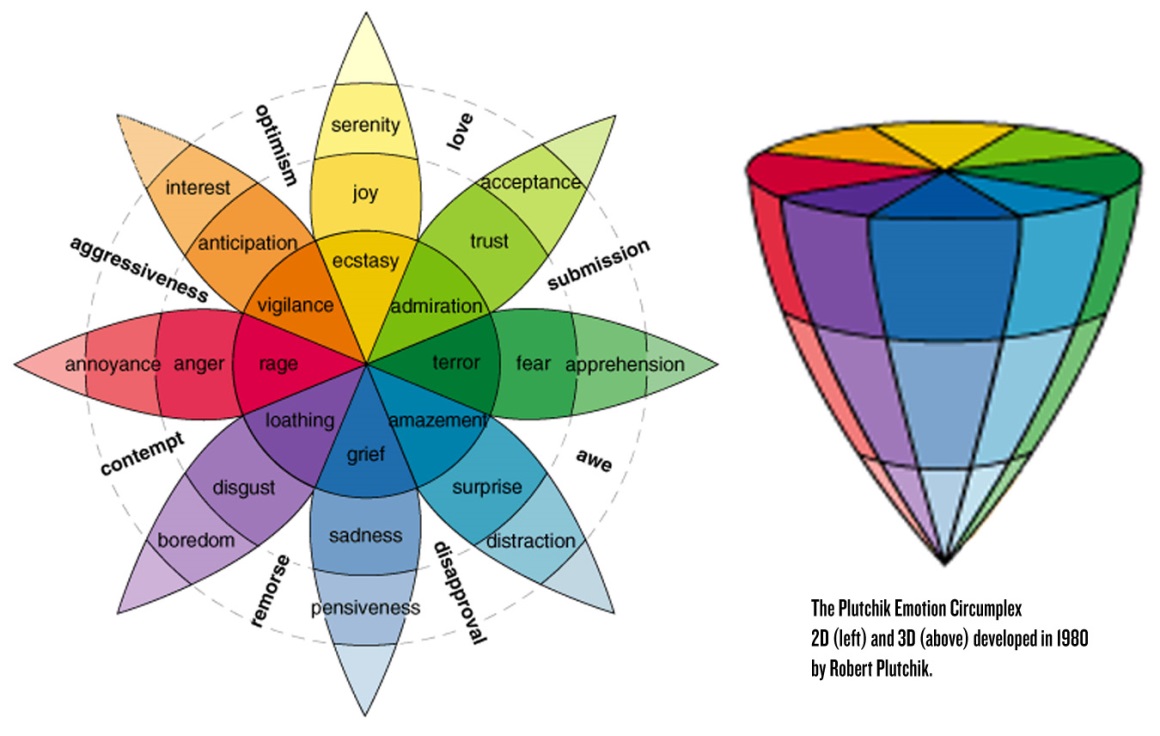


Рисунок 4. Модель Плутчика

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.

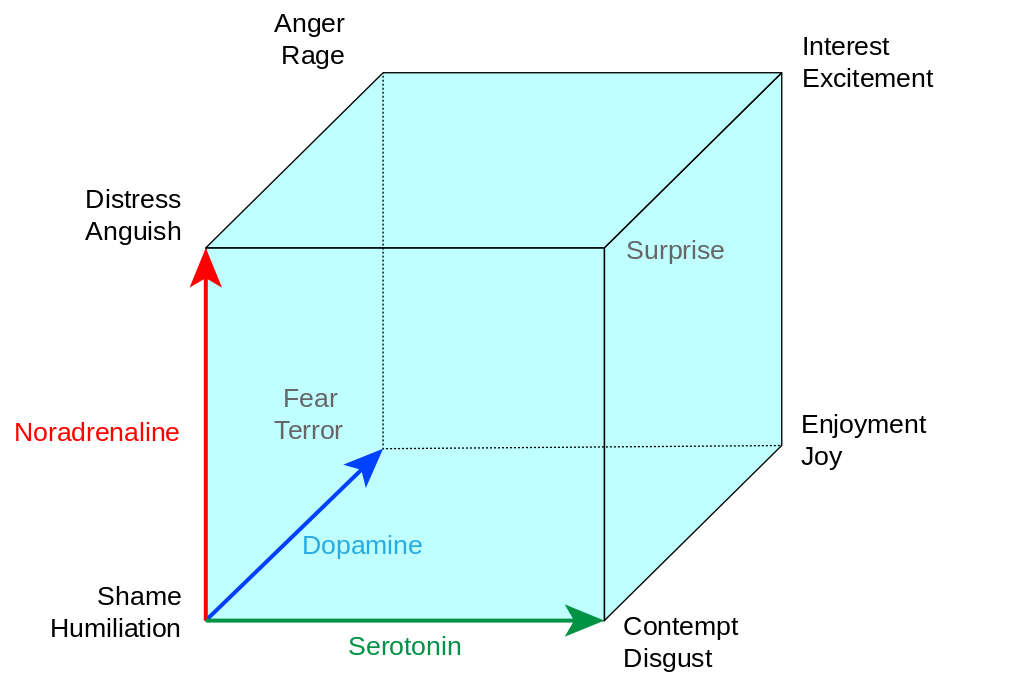


Рисунок 5. Куб Лёвхейма

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 [5]: 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 [4], 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 [4]: «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 [11].   
   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 [2] 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 [3]. 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 [6]. Фрактальную размерность можно использовать как характеристику кривой. Кроме того, нелинейные системы, такие как данные ЭЭГ могут быть подвергнуты анализу при помощи фрактальной размерности [7]. В [8] также сказано, что фрактальная размерность отражает изменения в ЭЭГ сигнале, и более того, в [9] 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 (рис. 6(a)). Далее начнем уменьшать размер ячеек, т.е. ε, тогда размерность Минковского будет вычисляться по вышеприведенной формуле, исследуя скорость изменения отношения логарифмов.

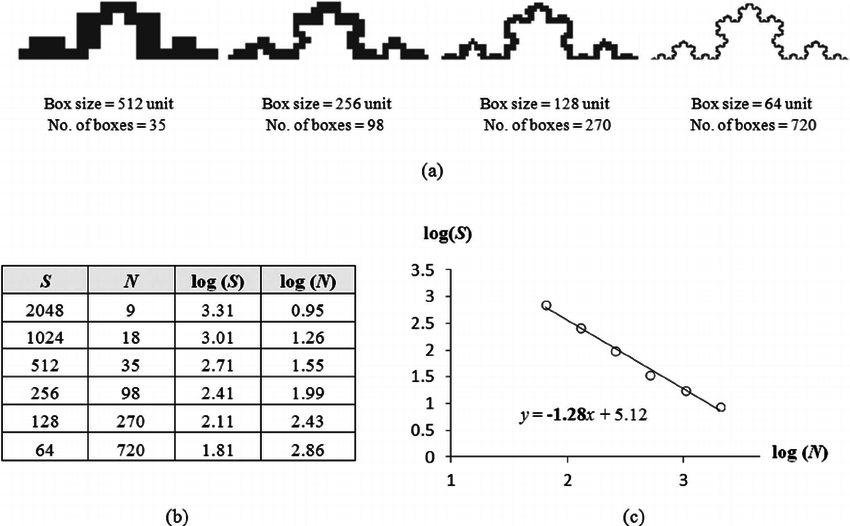


Рисунок 6. Пример применения размерности Минковского

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 аналоги

Прямых аналогов для разрабатываемой системы не было найдено. Среди косвенных аналогов 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. 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 |

# Проектирование

## Компоненты

Разрабатываемая система будет состоять из нескольких компонентов:

* основное приложение для ОС Android, реализующее связь с гарнитурой Muse, алгоритм определения психоэмоционального состояния, и воспроизводящее видео контент;
* 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)
* алгоритм определения эмоционального состояния по показаниям ЭЭГ
* администрирующее приложение для ОС Android, принимающее обработанные данные от основного приложения, визуализирующее их и позволяющее управлять воспроизведением видео контента в основном приложении. В функции администрирующего приложения также входит управление учетными записями пользователей.

## Взаимодействие

Описать взаимодействие компонентов систем можно с помощью схемы движения данных (см. рис. 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.



Рисунок 7. Схема движения данных

Основной цикл данных выглядит так:

1. с гарнитуры Muse по каналу Bluetooth передаются данные ЭЭГ;
2. приложение 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 видео контент на основании текущего состояния, осуществляя таким образом связь с пользователем через графический интерфейс.

## Обработчик биоданных

Гарнитура Muse является Bluetooth-устройством наподобие датчика. 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 администрирующим приложением 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 (администрирующего приложения) и пакеты данных как ответы от сервера (основного приложения).



Рисунок 8. Схема взаимодействия приложений c помощью собственного протокола

В таблицах ниже описаны составляющие пакета команд (Таблица 1) и возможные команды (Таблица 2), пакета данных (Таблица 3).

Таблица 2. Описание пакета команд

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

Таблица 3. 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 4. Описание пакета данных

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Поле** | **Тип** | **Описание** |
| headsetBatteryPercent | Integer | Процент заряда батареи устройства, где запущено основное приложение |
| 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 5. Описание полей типа VideoItem

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

Администрирующее приложение 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.

## База данных

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. рис. 8).



Рисунок 9. Схема связей в БД

В таблице 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 6. 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 таблице 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 7. 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 7 содержит данные об имеющихся возрастных категориях. Возрастная категория имеет идентификатор (целочисленная колонка id, являющейся первичным ключом таблицы).

Таблица 8. Описание столбцов таблицы AgeCategory

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

Таблица 8 содержит список используемых в системе тэгов для характеристики видео контента, используемого системой. Колонка id – целочисленный первичный ключ таблицы.

Таблица 9. Описание столбцов таблицы Tag

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

Используемый системой видео контент описан в таблице 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 10. Описание столбцов таблицы Video

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

Таблица 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 11. Описание столбцов таблицы VideoTag

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

Таблица 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 12. Описание столбцов таблицы VideoAgeCategory

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

Таблица 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 13. 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 |

Реализовывать работу с базой данных из приложения планируется при помощи библиотеки ORMLite, реализующей технологию Object-Relation Mapping для языка Java. Библиотекой поддерживается ряд СУБД, среди которых SQLite [10], а также существует адаптированная версия библиотеки для ОС Android.

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.

# Разработка

## Использованные средства

Программные:

* IDE Android Studio
* Android SDK
* Язык Java
* СУБД SQLite

Библиотеки:

* MPAndroidChart
* Gson
* Mockito
* JUnit

Аппаратные:

* Устройство на базе ОС Android 5.0
* Устройство Muse, представляющее собой гарнитуру, считывающее сигналы ЭЭГ с мозга и передающее их по каналу Bluetooth

Разработанная система классов

СХЕМА КЛАССОВ (ЛИБО ОБЩАЯ С ВЫДЕЛЕНИЕМ БИБЛИОТЕК КЛАССОВ, ЛИБО ДЛЯ КАЖДОЙ БИБЛИОТЕКИ СВОЯ)

Описание каждого класса

## Обработка биоданных

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.

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. Класс MuseManager позволяет получать список обнаруженных устройств (гарнитур Muse). Класс Muse представляет собой устройство Muse, полученное от класса MuseManager. После того как устройство для подключения будет выбрано, ссылка на него сохраняется в поле класса MainActivity.

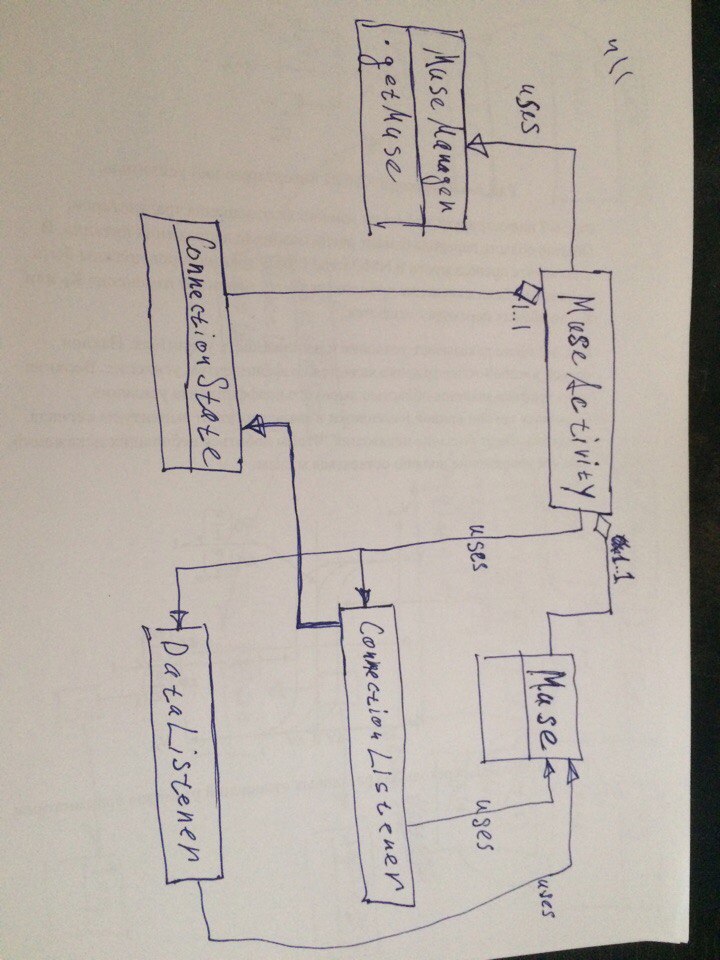


Рисунок 10. Схема классов для соединения с гарнитурой Muse

## 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:

public BluetoothService(Handler handler);

Ссылка на класс типа Handler требуется для обеспечения механизма обратного вызова при изменении состояния соединения, либо обработки полученного пакета.

Для использования инициализированного экземпляра класса BluetoothService в роли сервера, вызывается метод start(), 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).

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 connect, имеющий следующую сигнатуру:

public synchronized void connect(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.

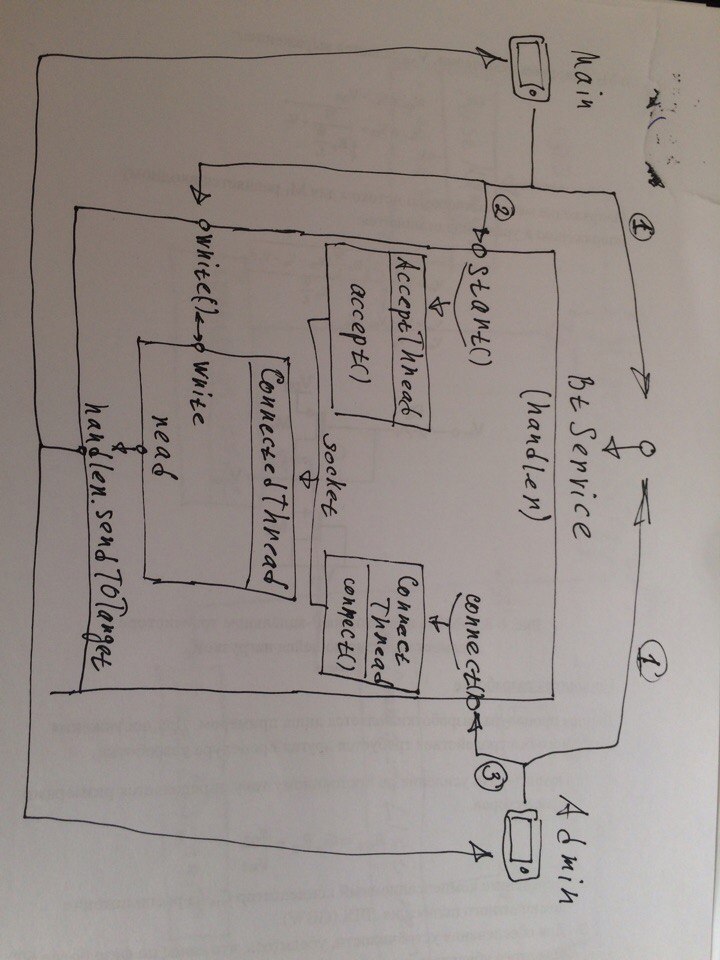


Рисунок 11. Схема работы класса BluetoothService

## Работа с базой данных

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.

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.

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.

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.

## Алгоритм определения состояния

Рассмотрим следующую реализацию box-counting алгоритма. Для вычисления размерности Минковского 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. В векторизованном виде решение линейной регрессии записывается следующим образом:

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

Обратную матрицу будем искать по следующей формуле:

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

СХЕМА?

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 1. 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;  }   /\*\*  \*  \* @param curve  \* @param startSize  \* @param endSize  \* @param step  \* @return vector of two values: first value is angular coeff (Minkowski–Bouligand dimension) while second value — offset.  \*/  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.

## 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 2. 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 приложение 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 приложения 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.

# Приложение 1. Использованные источники

1. 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.
2. 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>