Для обеспечения передачи между Android устройствами, используют множество технологий, но самой перспективной является технология Bluetooth Low Energy. Это одна из самых используемых технологий на сегодняшний день, которая позволяет передавать данные между устройствами, поддерживающими технологию Bluetooth 4.0, а так же снизить затраты на использование ресурсов батареи устройства.

Технология Bluetooth Low Energy появилась на рынке в 2011 году как Bluetooth 4.0. Говоря о различиях Bluetooth Low Energy и Bluetooth можно сказать в низком энергопотреблении Bluetooth 4.0. Хотя это может звучать как что-то негативное, но на самом деле это очень позитивно, когда речь идет о связи M2M. С потреблением энергии Bluetooth LE приложения могут работать с небольшим уровнем заряда батареи в течение четырех-пяти лет. Хотя это и не идеально подходит для разговоров по телефону, для приложений очень важно периодически обмениваться небольшими объемами данных.

Как и Bluetooth, BLE работает в диапазоне 2,4 ГГц ISM. В отличие от классического Bluetooth, BLE остается в спящем режиме постоянно, за исключением случаев, когда инициируется соединение. Фактическое время соединения составляет всего несколько миллисекунд, в отличие от Bluetooth, который принимает приблизительно 100 миллисекунд. Причина столь коротких соединений заключается в том, что скорость передачи данных достигает 1 Мбит / с.

Bluetooth  Low Energy ориентирован на новые перспективные приложения и рынки: здоровье и спорт, потребительская медицинская электроника, энергосбережение, промышленная автоматизация и безопасность.  Рассматривая приборы для отслеживания состояния здоровья, особое внимание привлекают приборы для отображения и анализа пульса, электрокардиограммы, давления.

В настоящее время на рынке представлены электрокардиографы, которые рассчитаны не только на распечатку или индикацию на экране монитора (ЭКГ), но и электрокардиографы со встроенными системами обработки ЭКГ сигналов для проведения измерений и выдачи интерпретационных диагностических заключений. Все в большей степени стираются различия между программным и аппаратным обеспечением, поскольку аналоговые усилители, использовавшиеся до недавнего времени, стали заменяться электронными цифровыми операционными схемами. Таким образом, стал актуальным вопрос в совместном использовании приборов для считывания ЭКГ и передачи полученных данных на смартфон для дальнейшего отображения и анализа.

В данной выпускной квалификационной работе будет представлено описание создания программного комплекса из двух мобильных приложений:

* приложение для эмуляции работы ЭКГ-прибора и для взаимодействия со смартфоном;
* приложение для подключения к устройству-эмулятору, получения и отображения ЭКГ данных с устройству-эмулятору.

Приведены основные блок схемы программного комплекса и описание классов.

Куда вставить актуальность

# Аналитический обзор состояния вопроса

## 1.1. Обзор технологии Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy - это простой, мощный и наиболее перспективный протокол взаимодействия между устройствами с низким уровнем энергопотребления. Начиная с Android 4.3, устройствам представляется встроенная поддержка Bluetooth Low Energy.

### 1.1.1. Архитектура Bluetooth Low Energy

BLE используется для установления связи между двумя или более устройствами, и обменам данными между ними. Каждое устройство во время общения может иметь одну из двух основных ролей:

* Generic Attribute Profile (GATT) клиент;
* Generic Attribute Profile (GATT) сервер.

Данный протокол похож на традиционную архитектуру клиент-сервер, где устройства-сервера имеют данные, необходимые другим устройствам, а так же запросы для получения этих данных. Устройство-клиент имеет возможность сканировать пространство вокруг себя на наличие BLE устройств, подключаться к найденным устройствам и взаимодействовать с службами устройства для получения необходимых данных. Устройство-сервер может начать рекламировать себя, после чего становится видимым для устройства-клиента. Далее, после того как устройство-клиент устанавливает соединение, периферийное устройство предоставляет набор сервисов, используемых периферией для получения данных. После того, как периферийное устройство устанавливает соединение, устройство-сервер предоставляет набор сервисов, используемых периферией для получения данных.

Сервис - это совокупность характеристик, представляющих определенный набор данных. Каждый сервис состоит из набора характеристик, которые в свою очередь состоят из значения и дескрипторов, относящихся к конкретной характеристике (см. Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – «Структура Bluetooth сервиса»

Характеристики могут быть одного из трех типов:

* allows reading - разрешается чтение данных из данной характерстики;
* allows writing - позволяет записывать значения в данную характеристику;
* allows notifyin - разрешает подписку на характеристику. Устройство-клиент будет уведомляться каждый раз, когда изменяется значение характеристики.

### 1.1.2. Сравнительная характеристика Bluetooth и BLE

Рассматривая различия между данными технологиями можно выделить следующие преимущества. BLE рассчитан на 1 Мбит/с, с практической пропускной способностью 305 Кбит/с. Это приблизительно 38 килобайт в секунду. Он имеет задержку при подключении или передаче данных меньше 6 миллисекунд, по сравнению с классическим Bluetooth, скорость подключения в котором составляет приблизительно 100 миллисекунд. Он экономит энергию, только будучи включенным, когда фактически передает данные, вместо того, чтобы удерживать подключение активным постоянно, как в случае с классическим Bluetooth.

Говоря о том, что BLE неэффективна при непрерывной передаче данных, нужно учитывать, что это относится к потоковым данным в диапазоне сотен килобит, то есть к аудио или видео. Различия между двумя технологиями представлены в таблице №1.

Таблица № 1 – «Различия между BLE и классическим Bluetooth»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Технические параметры | Классический Bluetooth | Bluetooth Low Energy |
| Рабочая частота | 2400 MГц | 2400 MГц |
| Дистанция | 10 м | 50 м |
| Скорость передачи | До 3 Мб/сек | 1 Мб/сек |
| Скорость полезная | 0.7 – 2.1 Мб/сек | ~0.1 Мб/сек |
| Количество узлов | До 7 | До 800 |
| Шифрование | От 56 до 128 бит | AES 128 |
| Задержки | > 100 мс | < 3 мс |
| Передача голоса | ДА | НЕТ |
| Только передатчик | НЕТ | ДА |
| Потребление энергии | 100% | 1% |
| Размер кода (FLASH/RAM) | 100/30 | 40/3 |

## 1.2. Схематическое строение электрокардиограммы

Электрокардиограммы широко используются в биомедицинской обработке сигналов, для диагностики патологического функционирования сердца. Многие алгоритмы были сконструированы для анализа, измерения и сжатия этих сигналов. Эти методы трудно проверить, потому что реальные сигналы ЭКГ искажаются несколькими типами шума. В данной работе представлен алгоритм, который генерирует реалистичные, синтетические сигналы ЭКГ. Этот алгоритм, может быть использован для тестирования новых методов обработки ЭКГ.

Используя числовые и геометрические параметры, которые являются диагностическими значениями, генерируемый сигнал можно интерпретировать как биомедицинский сигнал с важными диагностическими интервалами, такими как QRS, QT, PR и т. д.

С другой стороны, эта модель дает строго математический контроль над сигналом. В нашей интерпретации сигналы ЭКГ являются кривыми с заданными параметрами, включая производные, кривизну и т. д.

### 1.2.1. Теоретические сведения о строении электрокардиограммы

В медицинской обработке сигналов электрокардиограмма представляет собой электрическую деятельность сердца. В одном такте сигнал ЭКГ регистрирует разность потенциалов между двумя электродами, расположенными на поверхности кожи. Есть несколько типов записи данных, которые различаются лишь местом расположения электродов.

Роль цифровой обработки сигнала в анализе ЭКГ – это неоценимая помощь кардиологам для выявления и диагностики заболеваний. Особенно важно для тех пациентов, которым требуется 24 часа наблюдения.

Существует два разных способа тестирования и сравнения этих методов. Первый - использовать большие базы данных ЭКГ, такие как Physionet, для оценки алгоритмов. К сожалению, настоящие электрокардиограммы обычно искажаются из-за шума, поэтому трудно проверить точность протестированных процедур.

### 1.2.2. Структура ЭКГ волны

Сигнал ЭКГ может быть сегментирован в сердцебиение. Каждое сердцебиение состоит из пяти стандартных волн, помеченных буквами P, Q, R, S, T. Эти волны указывают деполяризацию и фазу реполяризации сердечных мышц. Кроме этого, существует ещё пять межволновых таймингов, называемых PR, сегментом PR, QRS, QT, и сегментом ST(см. Рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – «Основные характеристики кривой ЭКГ»

Рассмотрим все составляющие ЭКГ волны поэлементно.

Р-волны обычно представляют собой слабо амплитудные характеристики, которые представляют собой деполяризацию предсердий до сокращения предсердий.

QRS комплекс отражает деполяризацию желудочков. Это наиболее значимая волна ЭКГ из-за большой мышечной массы желудочков. Таким образом, его можно легко обнаружить и часто использовать для определения частоты сердцебиения.

T-волна представляет собой реполяризацию желудочков. Это

восстановление фазы сердечной мышцы. Форма этой волны несет в себе много информации о сердечных аномалиях. Поэтому важно проанализировать его геометрические свойства, такие как симметрия, асимметрия и наклон. PR интервал: это время, прошедшее между началом волны P и началом следующего комплекса QRS. Это отражает проведение через узел AV1.

PR сегмент - это плоский, обычно изоэлектрический сегмент между концом волны P и началом комплекса QRS. Большая задержка в сегменте PR происходит в AV-узле.

Сегмент ST представляет период от конца деполяризации желудочков к началу реполяризации желудочков

## 1.3. Математическая модель алгоритма генерации ЭКГ волны

Один способ сгенерировать электрокардиограмму состоит в том, чтобы использовать динамические модели. В этом случае кривая ЭКГ представляет траекторию, определенную дифференциалом. Это также возможный способ вести долгосрочные записи, такие как 24-часовые ЭКГ, беря во внимание вариабельность сердечного ритма. На частоту сердечных сокращений может значительно влиять симпатическими и парасимпатические действия. Например, сердце повышения ставки во время ингаляции и уменьшения во время выдоха.

Так же для генерации ЭКГ волны принято использовать кусочное многочленное приближение. Кусочный подход приближения обладает следующими преимуществами:

* геометрические параметры кривой могут быть отрегулированы от элемента к элементу;
* возможность установить диагностические параметры ECG независимо его геометрических параметров;

Рассмотрим алгоритм полиномиальной аппроксимации. Представим одно сердцебиение с электрокардиограммы через 15 базовых точек. Обозначив эти точки через   
, мы должны найти сплайн S, который удовлетворяет следующее уравнение:

Вставить формулу

где f: R → R - изменяющаяся во времени функция, которая представляет кривую ЭКГ. Это может быть легко решено методом классической Эрмитовой интерполяции. Главный вопрос, на который нужно ответить, - как выбрать базовые точки? Они должны быть связаны с диагностическими параметрами, поскольку они определяют диагностические интервалы и амплитуды волн ЭКГ.

Необходимо различать диагностические и геометрические параметры. 15 диагностических параметров можно разделить на два класса. Первая группа содержит диагностические интервалы: PR, PR сегмент, QRS, QT, сегмент ST. Второй класс включает амплитуды волн P, Q, R, S, T.

Касательные и кривые являются геометрическими параметрами. Они могут быть установлены на некоторых, но не на всех базовых точках. Например, кривизна может быть установлена только в экстремумах, но касательные могут меняться на всех не экстремальных точках. В конечных точках, , , мы требуем только интерполяционные ограничения. Переменные параметры суммируются в списке ниже

Вставить формулу

Заметим, что кривизна как геометрический параметр легко вычисляется как производная:

Вставить формулу

где κ () - кривизна функции f в точке .

## 1.4. Внедрение технологии Bluetooth Low Energy в электрокардиографы

Bluetooth LE является популярным протоколом для связи с медицинскими устройствами и не без оснований: в дополнение к низкому энергопотреблению, он также относительно недорог и предлагает возможность подключения к большинству смартфонов.

Можно выделить четыре фактора, которые указывают на лаконичность использования BLE в медицинских устройствах:

* количество информации и латентность важны. Традиционный Bluetooth был разработан, чтобы хорошо передавать потоковые данные, такие как аудио, в то время как Bluetooth LE экономит энергию, обычно отправляя небольшие пакеты данных с нечастыми интервалами. Это дает нам возможность отправлять маленькие пакеты данных каждые пару секунд, при этом экономя значительную часть заряда батареи;
* существует возможность запрограммировать интервал соединения BLE от доли секунды до нескольких секунд;
* BLE работает на большинстве смартфонов. Стандарт Bluetooth LE вышел в 2010 году, поэтому большая часть смартфонов сегодня выпускается с поддержкой данной технологии. Если вы хотите приобрести приложение для смартфонов для своего медицинского устройства, Bluetooth LE может быть отличным вариантом - огромным преимуществом подключения в сфере фитнес-устройств и нерегулируемых потребительских медицинских продуктов.

## 1.5. Сравнительный анализ аналогов на рынке электрокардиографов

На сегодняшний день, на рынок электрокардиографов с большим успехом врываются устройства, поддерживающие беспроводную передачу данных с помощью технологии BLE, что в свою очередь влечет появления большой конкуренции.

### 1.5.1. Rejiva

Одним из самых перспективных электрокардиографов с поддержкой BLE является устройство компании Rijuven “Rejiva - Health and Stress Biofeedback Patch”. Данное устройство измеряет частоту сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма (HRV), частоту дыхания, время сна, индекс дыхания и уровень энергии для анализа состояния автономной нервной системы (ANS). Это первое устройство, которое фиксирует общее состояние здоровья, помогает управлять стрессом, оценивает процесс старения и отслеживает уровень энергии организма(см. рисунок 1.3). Так же при покупке устройства Rejiva, покупатель автоматически бесплатно получает программное обеспечение для смартфона для взаимодействия с устройством. Данное устройство будет стоить приблизительно 14234 рубля или 248 долларов США.



Рисунок 1.3 – «Наглядное представление устройства Rejiva»

### 1.5.2. eMonition ECG

Конкуренцию устройству Rejiva может составить устройство компании Mega “ eMonition ECG ”(см. рисунок 1.4). EMotion ECG - это система дистанционного мониторинга электрокардиографии (ЭКГ), которая делает возможным отслеживания изменения сердечного ритма. Постоянный мониторинг в реальном времени может выполняется как дома так и на работе, что позволяет без каких либо препятствий следить за своим здоровьем не внося больших изменений в повседневную жизнь.



Рисунок 1.4 – «Наглядное представление устройства eMotion ECG»

Данная система работает следующим образом - данные ЭКГ передаются от датчика ЭКГ на мобильный телефон через BLE модуль. Телефон перенаправляет данные через мобильную сеть на сервер, где хранятся данные. Данные могут обрабатываться двумя способами: с помощью веб-браузера для анализа или с помощью монитора в режиме реального времени. С помощью веб-браузера специалист может детально изучить и проанализировать сохраненные ЭКГ данные. Отчет об анализе можно отправить в электронное письмо пациента сразу же после его завершения. Мониторинг зрения позволяет контролировать несколько пациентов одновременно. Частота сердечных сокращений у пациента может быть видна на экране мобильного телефона.

При покупке устройства eMotion ECG, покупатель автоматически бесплатно получает программное обеспечение для смартфона, чтобы взаимодействовать с устройством. Данное устройство будет стоить приблизительно 234705 рубля или 4105 долларов США.