

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

**Институт компьютерных наук и технологий**

**Кафедра «Распределенные вычисления и компьютерные сети»**

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

на тему: Методы навигации внутри здания

Выполнил студент

гр. 33507

В.Б.Борисов

Руководитель

доц.

А.В.Самочадин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Санкт-Петербург

2016

## Оглавление

Введение.....	3
1.1. Актуальность проблемы.....	3
1.2 Постановка задачи.....	3
Основная часть.....	4
2.1 Существующие подходы .....	4
2.2 Варианты решения проблемы indoor-навигации .....	5
2.3 Решения от различных компаний и их реализация .....	7
3 Реализация собственного приложения .....	14
3.1 Выбор средств разработки .....	14
3.2 Интерфейс и функциональные возможности .....	14
3.3 Карты помещения.....	16
Заключение .....	18
Список литературы .....	19

# Введение

## 1.1. Актуальность проблемы

В последнее время всё более актуальной становится проблема навигации внутри помещений, а также предоставления посетителям услуг, основанных на их местоположении (LBS – Location-based service) и предпочтениях. Здания становятся всё более объемными, многоэтажными и нередко имеют довольно сложную структуру, ориентироваться в которой могут лишь те, кто постоянно посещает такие здания, а для неподготовленного человека ориентирование в таких местах превращается в невыносимое скитание и потерей времени. На сегодняшний день решения, применяемые в indoor-навигации (навигации внутри помещений), помогают в ориентировании внутри зданий

В спутниковой навигации (GPS или Глонасс) существуют сервисы OutDoor, благодаря которым вы узнаете о ближайших кафе/ресторанах/гостиницах и т.д. благодаря тому, что известно ваше текущее местоположение, однако даже такие именитые системы не лишены недостатков. Существенный их недостаток — это ограниченная область их применения. Эти системы практически невозможно использовать внутри помещений, т.к. материалы зданий серьёзно мешают прохождению сигнала, потому общая погрешность измерений, зачастую неприемлема. Эти проблемы можно решить по-разному, к примеру, компания Google для своего приложения «Карты» ввела возможность снижения погрешности локации за счёт информации о Wi-Fi точках доступа. Для предприятий со сложной внутренней структурой помещений, аэропортов, торговых центров и музеев было бы крайне полезно обзавестись подобной системой навигации для клиентов или сотрудников. Подобная система позволила бы сократить время на пространственное ориентирование внутри незнакомого помещения.

Благодаря сервисам indoor-навигации вы сможете без проблем и оперативно найти ближайшую стойку регистрации в здании аэропорта, экспонат в музее, отдел и полку с нужным вам товаром в магазине (больше не придется тратить часы на поиск всех нужных товаров в магазине), свободное место на парковке, и многое другое. Типичный пример – аудиогиды (аудиогид— фонограмма, используемая для самостоятельного знакомства с экспозицией музея, выставки, местностью, а также устройство для ее воспроизведения). Приходите в музей, берете аудиогид, и каждый раз вынуждены искать по номеру нужный экспонат, вводить его номер в устройство и слушать его описание. В случае применения indoor-навигации, всё производится автоматически – просто подойдите к заинтересовавшему вас экспонату, и его описание начнет проигрываться без дополнительных телодвижений с вашей стороны. Никаких сложностей и потери времени, всё просто.

Благодаря большим коммерческим перспективам, направление indoor-навигации становится всё более востребованным и уже привлекло внимание таких крупных игроков на рынке, как Google, Apple, Qualcomm, Broadcom, Sony и т.д., и в это, без сомнения, перспективное направление уже инвестируются сотни миллионов долларов.

## 1.2 Постановка задачи

В рамках данной работы была поставлена задача изучить существующие методы навигации внутри помещений и разработать прототип системы позиционирования для мобильных устройств на платформе Android с использованием данных о доступных точках доступа Wi-Fi и исследовать ее возможности.

## Основная часть

### 2.1 Существующие подходы

С актуальностью и перспективностью разобрались, настало время ознакомиться с методами и их реализации. Существует целый пласт задач, для решения которых необходимы системы позиционирования. К сожалению, общедоступная система глобального позиционирования GPS не всегда отвечает требованиям, т.к. имеет среднюю общую погрешность в 15 метров[1] её работа в помещениях затруднительна, а также она, в силу особенностей реализации, не способна вычислять высоту, на которой находится искомый объект. Рынок систем локального позиционирования относительно молод, однако существующие системы уже можно разделить на два больших класса[2]:

I. RealTime Location Systems (RTLS) – системы отслеживания в режиме реального времени. Используются для отслеживания местоположения людей, техники, объектов на ограниченной территории. Несколько сканирующих вышек определяют местоположение любого объекта или субъекта только в том случае если они снабжены специальными метками RTLS. Для понимания работы системы, рассмотрим пример. Есть некоторое серверное программное обеспечение, которое работает поэтапно:

- вычисляет координаты меток;
- накапливает полученные данные;
- сигнализирует о нахождении объектов в заданных или запрещенных зонах, движении объектов по заданным маршрутам или отклонении от них, нарушениях скоростного режима;
- визуально отображает на экранах операторов местонахождение выбранных объектов и траектории их движения за заданный отрезок времени.

II. Indoor Positioning Systems (IPS) - системы позиционирования в помещениях.

Используются для навигации внутри помещений. Устройство определяет своё место положения по сигналу от установленных так называемых «маяков». Архитектурно все варианты реализации системы IPS можно условно разделить на две большие группы: реализуемые на стороне провайдер и реализуемые на стороне клиента.

- Реализуемые на стороне провайдера  
В таких проектах, как ЕКАНАУ, Zebra используются специализированные контроллеры, сеть точек доступа, серверное ПО для анализа данных. Используются специализированные клиентские WiFi маяки, хотя возможно использовать и обычные устройства с поддержкой WiFi. Все решения этого класса направлены на корпоративный сегмент, имеют высокую стоимость, длительное время внедрения и мало предназначены для интеграции с публичными мобильными приложениями.
- Реализуемые на стороне клиента  
В качестве приемника сигналов используется мобильное устройство (чаще WiFi), которое собирает данные о доступных точках доступа (MAC, SSID, доступные типы подключения). Далее, проводится статистический анализ поступивших данных, отсекаются крайние значения и вычисляется наиболее вероятные значения

измеряемых параметров.

Наиболее простой метод вычисления координат клиента — метод триангуляции относительно точек доступа с известными координатами. Недостатком метода является необходимость знать координаты точек доступа, относительно которых ведется отсчет.

Оба типа систем, как правило, используют метод трилатерации – нахождения координат точки по расстояниям до точек с известными координатами[3]. Для снижения стоимости разработки, как правило, используются уже существующие протоколы беспроводной связи: Wi-Fi, Bluetooth, RFID (радиочастотные метки).

## 2.2 Варианты решения проблемы indoor-навигации

### 1) Навигация по Wi-Fi.

Используется уже существующая инфраструктура сетей связи – точки беспроводных сетей Wi-Fi, и это наименее затратный вариант. Методика определения координат следующая– устройство пользователя сканирует доступные Wi-Fi-точки доступа, затем информацию о них отправляет на сервер, где эти данные по базе данных сопоставляются с координатами этих точек доступа, по которым и вычисляются координаты пользователя. К сожалению, координаты Wi-Fi точек точно не известны, плюс могут меняться (перенесли Wi-Fi точку в другое место или заменили её на другую – координаты уже оказываются неверными).

Точность при таком подходе оставляет желать лучшего (погрешность – до 25 метров! А при использовании специально созданной wi-fi инфраструктуры – точность 3-5 метров, но это уже требует ощутимых затрат на создание и обслуживание подобной системы), да и идентифицировать клиентов по Wi-Fi, привязывая их расположение к карте помещений, проблематично – начиная с iOS 8, mac-адреса Apple-устройств (iPhone, iPad) постоянно меняются, для предотвращения «рекламной» слежки.

### 2) Геомагнитное позиционирование.

Основано на ориентировании по магнитному полю Земли и базируется на геомагнитных аномалиях как критериях для геомагнитного позиционирования (аномалии возникают вследствие неоднородности геомагнитного поля). Заключается в фиксации геомагнитных аномалий и нанесении их на карту территории, на которой предполагается ориентироваться. В дальнейшем навигация производится по составленной карте устройством, в которое встроен магнитометр. Практический пример реализации – система IndoorAtlas команды учёных из финского университета Оулу. Недостаток – высокая сложность реализации, невысокая точность примерно 2 метра. В помещениях очень много динамически меняющихся магнитных аномалий (проводка, поле в которой меняется в зависимости от подключённой нагрузки и сильно меняет конфигурацию магнитного поля вокруг себя, посетители со своими радиоэлектронными устройствами, стеллажи, тележки), сильно усложняющих навигацию, основанную на указанном способе ориентирования в пространстве.

3) Системы спутниковой навигации (GPS/Глонасс и т.д.) + инерциальные навигационные системы (ИНС).

Применимо, когда периодически появляется сигнал систем спутниковой навигации – например, проезд по тоннелю – когда въезжаем в тоннель, нам ещё доступны актуальные координаты и направление движения с GPS/Глонасс-спутников, далее при въезде в тоннель мы теряем сигнал, и используем уже инерциальную навигационную систему (ИНС, на базе акселерометра, гироскопа, магнитометра), которая использует в качестве начальных условий последние актуальные данные с GPS/Глонасс до потери связи со спутником и поддерживает их актуальность на основе получаемых с датчиков данных о текущей скорости/ускорении/направлении движения, до возобновления связи со спутниками. Стоит принимать во внимание, что в ИНС ошибки постоянно накапливаются, и со временем данные, полученные с ИНС, становятся все более и более отличными от действительности.

4) Ориентирование по базовым станциям операторов сотовой связи (GSM).

В зоне видимости сотового телефона / GSM-модема постоянно находятся как минимум одна базовая станция GSM, а обычно – несколько. Координаты расположения этих базовых станций – известны благодаря многочисленным навигационным сервисам, например, Яндекс. Навигатор – приложение получает информацию о видимых вашим телефоном базовых станциях и текущем вашем положении по GSM/Глонасс, и отправляет эти сведения в Яндекс, где на основе этих данных строится база соответствий «Базовая станция-координаты», к которой имеется свободный доступ через предоставляемое API. Отправив эти данные на один из специальных сервисов (предоставляемый Яндекс, Google и другими компаниями), получаем координаты этой базовой станции. Многие модемы позволяют получить список видимых базовых станций, остаётся только через базы данных с координатами БС получить координаты и методом триангуляции определить свое примерное местоположение.

Минусы – невысокая точность (БС может быть удалена на расстоянии в 35км от пользователя + некоторые БС являются мобильными и постоянно меняют свою дислокацию).

5) Использование Bluetooth-маячков Beacon.

Даёт достаточную точность при приемлемом уровне финансовых затрат; перспективная технология, которая активно развивается, поэтому именно на iBeacon остановимся подробно в следующем разделе и реализуем на практике.

6) Навигация, основанная на синергетическом эффекте.

По названию понятно, что такая навигация решает задачу определения текущего местоположения, используя все (или большинство) из перечисленных выше способов. Эффективность достигается за счёт того, что мы используем сразу несколько векторов определения координат, что способствует компенсации ошибок и повышению точности определения координат. На реализацию подобной системы, кстати, в прошлом году фондом развития центра разработки и коммерциализации новых технологий «Сколково» был выделен грант в 1 млн \$.

Таблица затрат и эффективности методов позиционирования

Название	Эффективность	Затраты
Навигация по Wi-Fi	Погрешность до 25 метров	минимальны
Геомагнитное позиционирование	Невысокая точность (2 метра) даже при сложной реализации	средние
GPS/Глонасс	Потеря сигнала при въезде в тоннель или при входе в здания	большие
Базовые станции (GSM)	Невысокая точность из-за БС (они могут менять местоположения)	Зависит от количества БС
Bluetooth-маячки Beacon	Крайне высокая точность (чем больше маячков, тем лучше)	Очень большие
Навигация, основанная на синергетическом эффекте	Чем больше векторов определения координат, тем эффективнее работа	Большие, до сих пор ведется исследование

## 2.3 Решения от различных компаний и их реализация

### 1) *Zebra Location Solutions*

Одним из первых на рынке локационных систем реального времени появилось решение от компании Zebra. Компания Zebra производит устройства и сопутствующее программное обеспечение для систем локации и, в настоящий момент, является лидером на рынке. Zebra Location Solutions (см. рис. 1) использует как устройства на основе RFID, так и собственные устройства. Решения от Zebra позволяют спроектировать, построить и поддерживать систему локации в реальном времени на предприятиях с развитой инфраструктурой, отслеживать перемещения сотрудников и продукции. Однако, решения от компании Zebra весьма дорогостоящи, что значительно затрудняет их использование в качестве потребительских систем навигации[4].



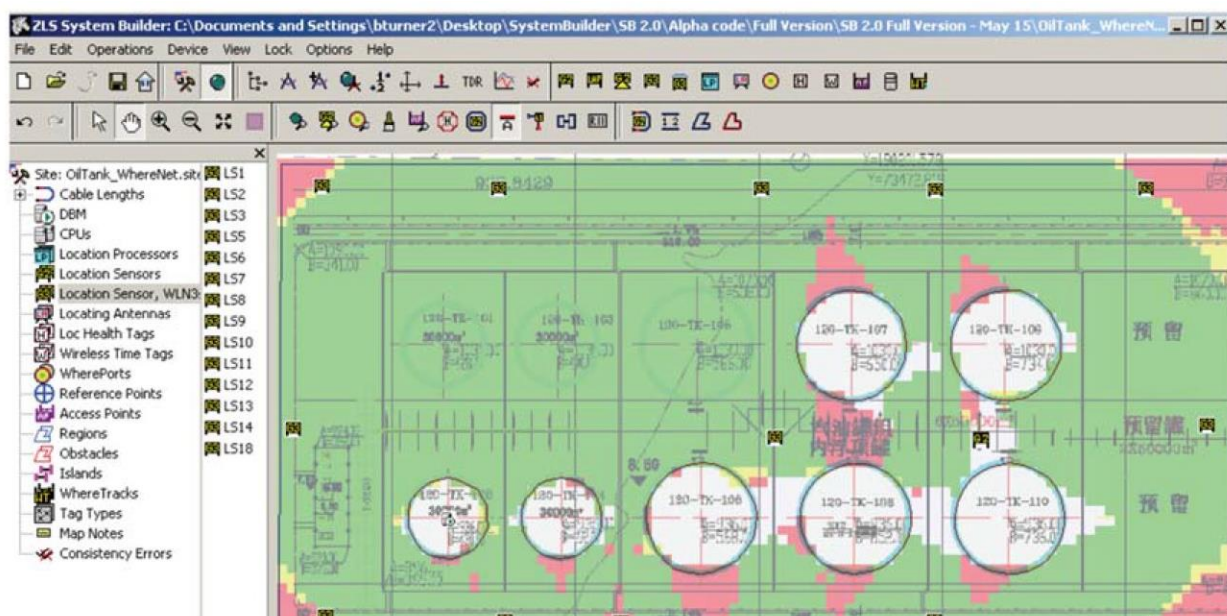


Рисунок 1 – Рабочее окно Zebra Location Solutions System Builder в процессе проектирования системы отслеживания в режиме реального времени.

## 2) Wizee Shopping

WizeeShopping– отечественный стартап, нацеленный на посетителей крупных торговых центров. Помимо функций навигации, реализованных с помощью GPS, содержит также поддерживаемую в актуальном виде информацию о ТЦ (см. рис. 2): перечень брендов, наличие парковки, расположение банкоматов, туалетов, ресторанов, а также информацию об акциях и скидках в ТЦ[5]. Навигация внутри торгового центра, однако, отсутствует, что не позволяет рассматривать WizeeShopping как полноценную систему позиционирования в помещениях.



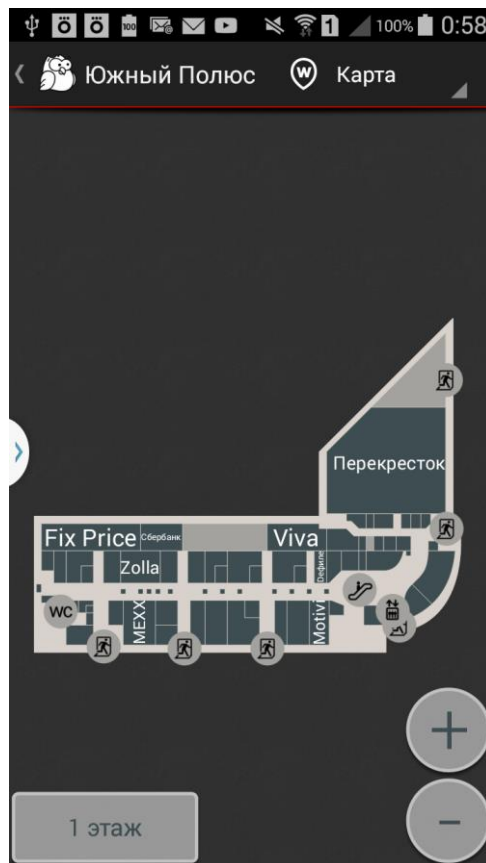


Рисунок 2 - Экран плана торгового центра в приложении Wizee Shopping для Android.

### 3) GateGuru

GateGuru – приложение-ассистент в путешествиях (см. рис. 3). Помимо навигации по аэропортам включает в себя планировщик перелётов с функцией напоминания, различные каталоги, аренда машин, точки общественного питания и прочее [6].



Рисунок 3 - Экран плана аэропорта в приложения GateGuru для Android.

#### 4) ЕКАНАУ

ЕКАНАУ – система аналогичная Zebra Location Solutions (см. рис. 4). Позволяет спроектировать построить и поддерживать систему отслеживания в реальном времени, помимо того позволяет проектировать беспроводные сети, добиваясь максимальной зоны покрытия при минимальных финансовых затратах. В решениях для систем отслеживания используются специализированные устройства – «маяки», работающие по протоколам WI-FI и RFID[7].



Рисунок 4 – Рабочее окно приложения ЕКАНАUVision.

## 2.4 Технология Veacon

Работа данной технологии довольно проста. Пусть у нас есть, установленные по всему периметру, Bluetooth-маячки, расположения которых мы знаем. Эти маячки с заданной периодичностью производят широковещательную рассылку, которая содержит идентифицирующую их информацию. Пользовательское приложение циклично получает эти данные, по базе данных определяет координаты маячков, и на основе силы сигнала (позволяющей определить удалённость от каждого из них) определяет своё местоположение. Подобные маячки часто называют маяками iVeacon, что ошибочно. Правильнее называть их Veacon-маяками, поскольку iVeacon – это название стандарта от Apple для использования в мобильных приложениях под iOS, а Veacon – это собственно физическая реализация маячков.

## 2.5 Определение координат по Veacon-маячкам

Чтобы начать работу, для начала мы должны установить в помещении Veacon-маячки (к примеру, мы можем прикрепить их на стену или на потолок, и чем их больше и чем маячки ближе друг к другу расположены – тем лучше будет результат определения наших координат) так, чтобы они покрывали всю площадь помещения, и привязать их к координатной сетке на карте помещения, учитывая удаленность маячков друг о друга (см. рис. 5).

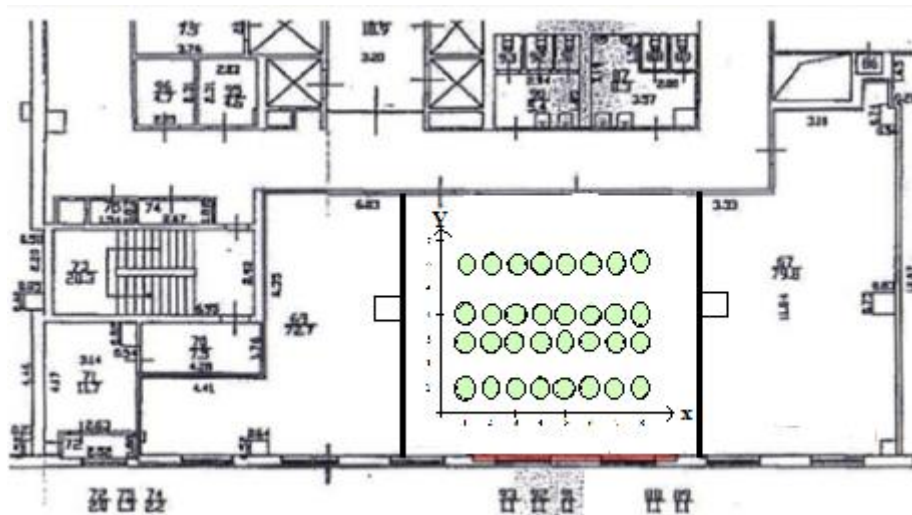


Рисунок 5 – установка маячков внутри одной комнаты.

Геокоординаты нам не нужны, ведь мы хотим определять свое местоположение относительно помещения, поэтому привязываемся к координатам внутри самого помещения. На примере выше круги – это опорные столбы помещения, на каждом из которых закреплено по маячку. На первый взгляд, ничего сложного нет в определении нашего местоположения – сканируем Veacon-маяки, определяем их координаты, по параметру RSSI (показатель уровня принимаемого сигнала) вычисляем их удалённость, и определяем своё местоположение, но вот с этого момента и начинается самое интересное.

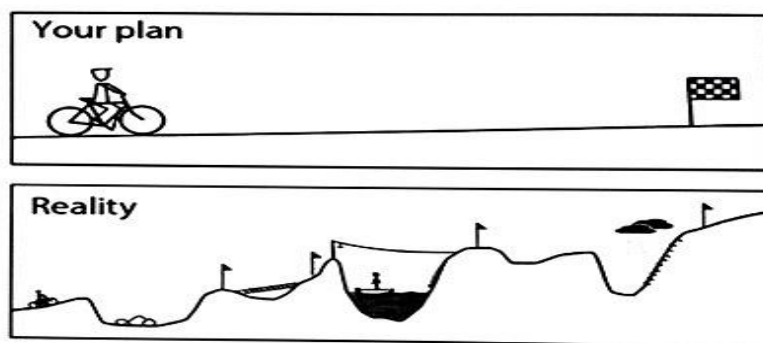


Рисунок 6 – демонстрация определения местоположения без математического аппарата

Суровая реальность вносит свои коррективы. Дело в том, что даже в условиях прямой видимости с маячком параметр RSSI «скачет», хаотично меняя своё значение, в результате чего без применения математического аппарата определить расстояние до маячка становится делом затруднительным. (см. рис. 6) Это происходит из-за следующих факторов:

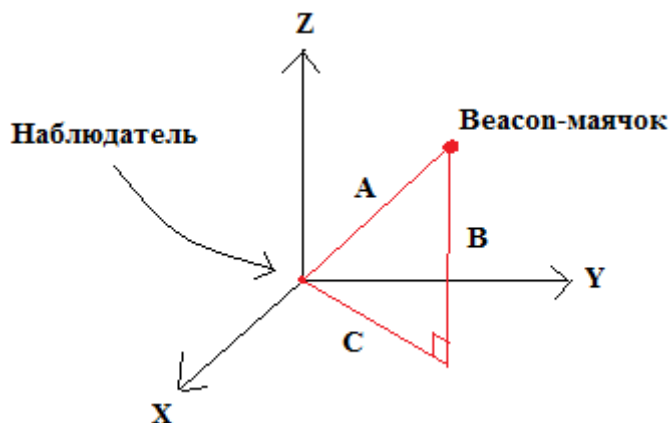
- Ориентация и характеристика направленности излучения или приёма антенной маячка/пользовательского устройства
- Присутствие крупных экранирующих объектов (человек таковым тоже является) по направлению от маячка до устройства
- Наличие поблизости поверхностей из материалов, хорошо отражающих радиосигнал, а также большое скопление маячков Beacon на одной территории, за счёт многолучевой интерференции с основным лучём

Для начала, нам нужно как-то усреднить значение RSSI с каждого из маячков. Для этого, настраиваем маячки на выдачу данных с максимальной частотой (выше периодичность выдачи данных – больше данных для усреднения, соответственно и выше точность на выходе, но принимайте во внимание, что с повышением периодичности выдачи данных вы снижаете ресурс батареи маячка, так что нужно искать «золотую середину»), накапливаем их в буфере, и с определённой периодичностью (например, раз в секунду) считаем на основе накопленных в буфере данных среднее RSSI для каждого из маячков (в дальнейшем на основе этих «средних» RSSI будем определять наши координаты каждую секунду), затем очищаем буфер и следующую секунду заново накапливаем данные, и так циклически.

Далее каждую секунду, после расчета среднего RSSI, мы выбираем три маячка с лучшими средними RSSI и определяем по координатам этих маячков наше положение в пространстве с помощью трилатерации. В отличие от триангуляции, в которой координата устройства вычисляется на основе координат опорных объектов и углов от каждого из них до устройства, в трилатерации для вычисления местоположения объектов используется известное местоположение двух и более опорных объектов и измеренное расстояние между каждым из опорных объектов (Beacon-маячков) и устройством, для которого определяется местоположение. Для точного и однозначного определения

относительно местоположения точки или объекта на двумерной плоскости только с использованием трилатерации требуется, как правило, по меньшей мере, три опорные точки (информация с трёх Beacon-маячков с лучшими средними RSSI).

Следует не забывать, что расчеты производим в двумерном пространстве, а расстояние до маячков у нас — в трёхмерном, соответственно, если разница по оси  $Z$  между наблюдателем и маячками ощутима, нужно строить проекции на оси  $X$ ,  $Y$ :



$A$  – это полученное расстояние через RSSI

$B$  – высота расположения маячка от нашей двумерной плоскости (в которой находится наблюдатель – устройство, координаты которого определяем)

$C$  – расстояние до маячка в этой плоскости, которое и требуется найти. Т.к. образуемый треугольник – равнобедренный, то по теореме Пифагора можем без труда найти искомое расстояние, и использовать его в своих расчетах.

Итак, мы определили своё местоположение по трём маячкам с помощью трилатерации, но на этом работа не заканчивается. Даже если мы стоим на месте – наше местоположение всё равно «скачет». Таким образом, требуется дальнейшая математическая обработка полученных результатов, и тут на помощь нам приходит фильтр Калмана. Фильтр убирает шумы измерения (случайные всплески) и выдаёт результат как с учетом результатов текущих измерений, так и с учётом предсказанных результатов на основе прошлых измерений. Фильтр использует динамическую модель системы (закон движения) и 2 повторяющиеся циклически стадии: предсказание и корректировка. На первом этапе – предсказании – мы рассчитываем состояние системы в следующий момент времени, а на втором – корректировке – корректируем наш прогноз, используя результат очередного измерения. В результате мы имеем следующую схему: считаем средние RSSI -> выбираем 3 маячка с лучшими RSSI -> получаем координату путём трилатерации -> подаём на вход фильтра Калмана.[8]

## 3 Реализация собственного приложения

### 3.1 Выбор средств разработки

В качестве целевой платформы для реализации мобильного приложения была выбрана платформа Android. Такой выбор был обусловлен тем, что Android устройства составляют большую часть мирового рынка [9] и то, что в наличии есть смартфон с поддержкой Android. Среда разработки была изначально выбрана Qt Creator, из-за того, что уже был непосредственный опыт с ним, но как оказалось приложения на этой среде занимают много места (порой 1 окно весит до 80 мегабайт) и были замечены «фризы», поэтому было решено перейти на Android Studio где прототип приложения весит не больше 5 мегабайт, к тому же хорошая возможность изучить новую среду разработки. В качестве языка программирования был выбран язык C++. Android поддерживает данный язык. Выбор обусловлен тем, что была хорошая и полная документация, также опытом работы с данным языком.

### 3.2 Интерфейс и функциональные возможности

После запуска прототипа приложения мы видим интерфейс, с которым можно взаимодействовать. Первая иконка показывает карту помещения, вторая прокладывает маршрут между аудиториями, и третья просто закрывает главное окно. (см. рис. 7)



Рисунок 7 – главное окно

Выбираем первую иконку и видим карту первого этажа, а всего их 5. Мы можем менять карты при помощи Spinner. (см. рис. 8).





Рисунок 8

Реализована поддержка горизонтального и вертикального положения экрана. (см. рис. 9 и 10)

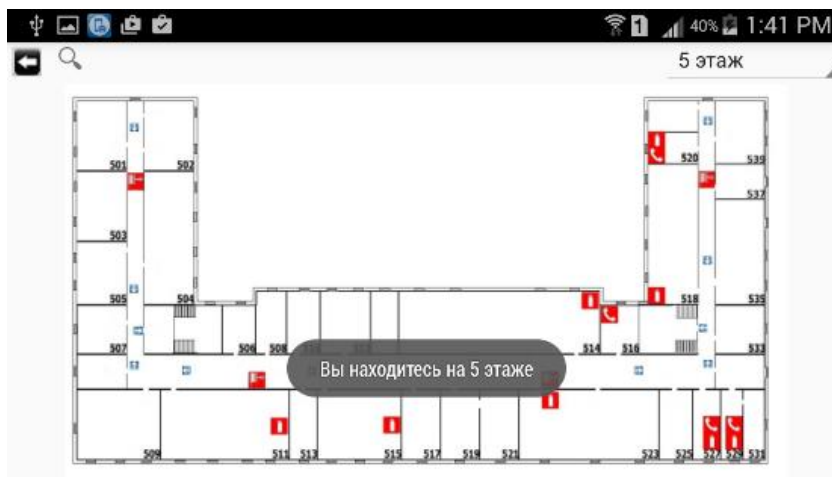


Рисунок 9 – горизонтальное положение экрана

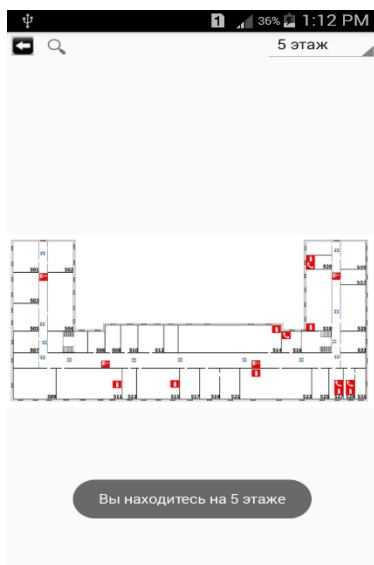
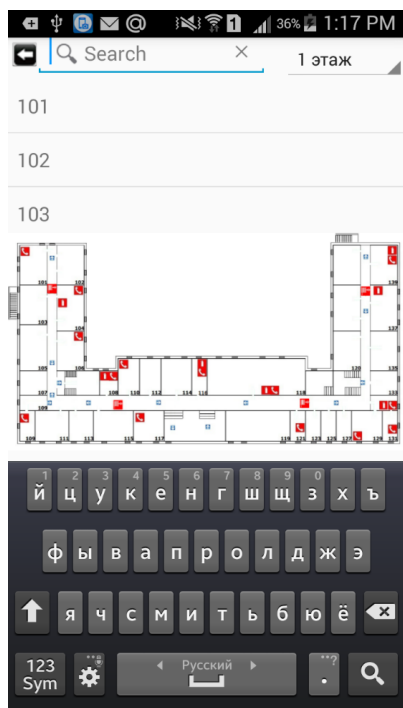


Рисунок 10 – вертикальное положение экрана

Также реализован поиск по аудиториям. Если мы хотим найти какую-нибудь аудиторию, то нам нужно выбрать увеличительное стекло и выбрать путем скроллинга ту аудиторию, которая есть на этом этаже. (см. рис. 11).



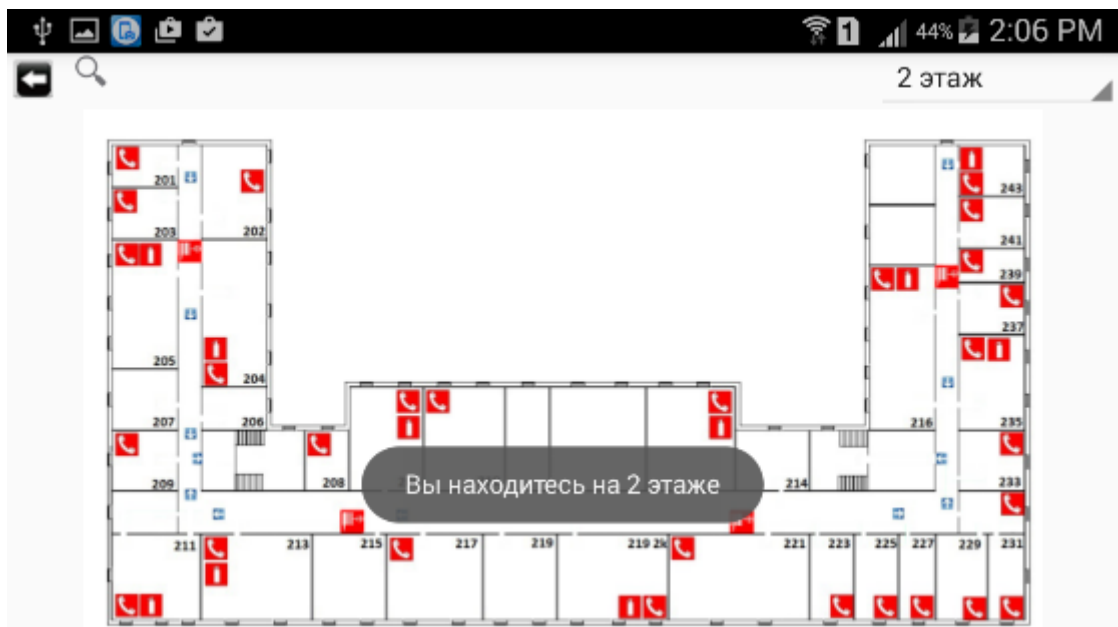


Выбрав нужную нам аудиторию меню скрывается и с помощью зума видим зону нахождения желаемого места. (см. рис. 12)



### 3.3 Карты помещения

Изображение карты на данный момент использует формат растровой графики PNG. Это не самое популярное решение для навигационных систем, однако, такое решение позволило упростить разработку графического представления карты, т.к. ОС Android уже содержит все необходимые библиотеки для работы с файлами в этом формате.





## Закключение

В результате выполнения научно-исследовательской работы были изучены различные методы навигации внутри помещений, приведена таблица эффективности этих методов и реализован прототип приложения с минимальным функционалом.

## Список литературы

1. Причины ошибок в системе GPS // Paraclub.ru. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.paraclub.ru/NB/pogrshnost\\_GPS.shtml](http://www.paraclub.ru/NB/pogrshnost_GPS.shtml)
2. Перспективы развития IPS и RTLS систем // IDExpert. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.idexpert.ru/reviews/6520/>
3. Oguejiofor O.S, Aniedu A.N, Ejiofor H.C, Okolibe A.U Trilateration Based localization Algorithm for Wireless Sensor Network // International Journal of Science and Modern Engineering (IJ ISME ). - 2013. - №10. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ijisme.org/attachments/File/v1i10/J04470911013.pdf>
4. Location Solutions // Zebra Technologies Corporation. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.zebra.com/us/en/solutions/location-solutions.htm>
5. Wizee // Wizee Шоппинг. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wizee.ru>.
6. GateGuru // GateGuru A Trip Advisor Company. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gateguru.com/>.
7. ЕКАНАУ // Ekahau Wi-Fi RTLS, Active RFID Tracking Solutions, and Wi-Fi design tools. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ekahau.com>.
8. Навигация в помещениях с iBeacon // habrahabr.ru. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/245325/>
9. Российский рынок смартфонов. Итоги 2014 года // Аналитика ИКТ и Digital Media. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/rossiyskiy-rynok-smartfonov-itogi-2014-goda20150120020050](http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rossiyskiy-rynok-smartfonov-itogi-2014-goda20150120020050), свободный (дата обращения: 17.03.2015).