МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВПО «ВГУ»)

Факультет прикладной математики, информатики и механики

Кафедра математического обеспечения ЭВМ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ IBEACONS ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ДЕВАЙСОВ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ**

Магистерская диссертация

Направление \_\_\_\_\_\_\_ ФИИТ

Профиль Системное программирование и компьютерные технологии

Допущен к защите ГЭК \_\_\_\_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Махортов С.Д., проф., д.ф.-м.н.

(подпись)

Обучающийся \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Зонов А. В.

(подпись)

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Болотова С.Ю., преп., к.ф.-м.н.

(подпись)

Воронеж – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Постановка задачи 5

Глава 1. Теоретические основы создания клиент-серверного приложения для работы с Exchange сервером 6

1.1. Основы работы существующих сервисов на примере функционирования GLONASS. 6

1.1.1. Рассмотренные технологии позиционирования внутри помещений 8

1.1.1.1. Навигация используя Wi-Fi 9

1.1.1.2. Геомагнитное позиционирование 10

1.1.1.3. Ориентирование по базовым станциям операторов сотовой связи 10

1.1.1.3. Технология iBeacon 10

1.2. Форматы передачи данных 21

1.2.1. iBeacon 21

1.2.2. Bluetooth 23

1.3. Алгоритмы определения местоположения 21

1.3.1. Введение 21

1.3.2. Алгоритм трилатерации 23

1.3.3. Практическая реализация алгоритма трилатерации 23

1.3.4. Алгоритм итеративной трилатерации 23

1.3.5. Практическая реализация алгоритма итеративной трилатерации 23

1.3.5. Методы на основе оценки Байеса. Фильтр Калмана, многочастотный фильтр 23

1.4. Создание мобильного приложения 21

1.2.1. Выбор платформы и языка программирования 21

1.2.2. Основные принципы создания iOS приложений на языке Swift и Objective-C 23

1.2.3. Организация взаимодействия с iBeacon маячками 27

1.2.4. Организация взаимодействия со встроенными сенсорами 27

1.2.4.1. Акселерометр 9

1.2.4.2. Гироскоп 9

1.2.4.3. Магнетометр 9

1.2.5. Создание интерфейса приложения, используя UIKit 29

1.2.6. Работа с базой данных 33

1.2.5.1. CoreData 33

1.2.5.2. Способы организации работы с CoreData 34

1.2.5.3. NSFetchedResultsController 36

1.2.5.4. Схема базы данных 36

1.2.7. Обеспечение безопасности хранения пользовательских данных 38

Заключение 54

Список использованных источников 55

Приложение 1. Экраны мобильного приложения 57

Приложение 2. Реализация взаимодействия с iBeacon 61

Приложение 3. Реализация контроллеров мобильного приложения 70

ВВЕДЕНИЕ

Задача создания мобильного приложения, позволяющего позиционировать девайс пользователя внутри помещений очень актуальна. Существует множество примеров очень крупных зданий со сложной внутренней структурой, таких как аэропорты, торговые центры, университеты. В постройках такого типа ориентироваться могут лишь те, кто постоянно посущает их, а для человека, попавшего туда впервые, ориентирование в таких местах превращается в пытку. Кроме того, традиционные системы точного геопозиционирования не работают в таких ситуациях, где плотность застройки не позволяет использовать GPS спутники, так как при высотной плотной застройке GPS сигнал доходит до девайсов отраженный, ослабленный или зашумленный.

Актуальность данной задачи в том, что в современном мире люди привыкли использовать навигаторы для построения маршрутов, но как только человек попадает из открытой местности в здание, например, в аэропорт, ведение по маршруту заканчивается. Данным вопросом заниматся все крупные информационные корпорации, такие как Apple, Google, Yandex, 2Gis и другие. Практически все современные картографические сервисы предлагают поэтажные карты крупных торговых центров и аэропортов, но определить точное местополежение пользователя они не могут.

В результате проведенного исследования не было найдено никаких библиотек или общепринятых практик для позиционирования внутри помещений в открытом доступе, хотя востребованность таковых велика, так как это очень большая маркетинговая ниша. В процессе исследования мной этого вопроса начали появляться первые приложения для конкрутных выставок, которые предлагали пользователям скачать приложение со схематичным расположением павильонов, но реализация данных решений была закрытой и являлась строго ориентированной под определенное мероприятие.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основная задача данной работы – поиск и сравнение различных технологий определения местоположения внутри помещений, знакомство с основами разработки приложений под управлением операционной системы iOS, изучение и сравнение различных алгоритмов по определению местоположения. Так же ставится задача разработки приложения, позволяющего с помощью iPhone определить этаж на котором находится утройство, а так же местоположение устройства на этаже с точностью большей чем позволяют существующие решения, использующие GPS и GPRS позиционирования внутри помщений. Приложение должно обладать следующими возможностями:

* + - * + Определение в каком здании, на каком этаже и в каком месте находится устройство.
        + Получать подробную схему здания.
        + Отображать карту этажа, на котором находится устройство.
        + Отображать текущее местоположение устройства на карте.
        + Обновлять изменение местоположения в реальном времени и обновлять карту.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.

**1.1. Основы работы существующих сервисов на примере функционирования GLONASS.**

GLONASS - Глобальная навигационная спутниковая система, одна из двух функционирующих сегодня систем глобальной спутниковой навигации. Она состоит из 24 спутников, которые движутся в трех орбитальных плоскостях. Происходит это примерно на высоте 40 000 км. Все 24 спутника транслируют на землю несколько видов радиосигналов, а также общаются между собой и с наземной службой, за счем чего всегда знают свое местоположение. Сигнал, отправляемый каждым спутником, имеет строготипизированный фирмат, который содержит информацию о координатах самого спутника, а так же время отправки сигнала. Как только мобильное устройство получает сигнал, оно его расшифровывает, получает координаты и время отправки, после чего, используя константную величину скорости сигнала вычисляется расстояние. Но для определения местоположения нужно больше спутников, так как в спутниковом позиционировании используется трилатерация. Несколько спутников отправляют сигнал, результирующее расстояние расчитывается до каждого спутника, если отложить отрезок от каждого спутника до точки совместного соприкосновения, то получим координаты устройства, принявшего сигнал. Этот принцип позиционирования считается достаточно точным, но тем не менее имеет погрешность, которая может достигать на открытой местности 13 метров. В помещениях же погрешность на столько велика, что использование глобальных систем позиционирования оказывается невозможным.

***1.1.1. Рассмотренные технологии позиционирования внутри помещений***

Как было рассмотрено выше, глобальная навигационная система не позволяет добиться достаточной точности в рамках решения задачи определения местоположения внутри помещений. Так как в постановке задачи было определено что приложение должно работать на смартфонах под управлением опрерационной системы iOS это не наложило ограниения, но так же предоставило мне широкий набор датчиков и сенсоров, которые можно использовать для решения нашей задачи.

*1.1.1.1. Навигация, используя Wi-Fi*

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – Беспроводные сети на базе стандарта IEEE 802.11. На данный момент уже существуют систмы позиционирования с использованием Wi-Fi, обычно это вспомогательные системы для GPS, так как для точного позиционирования по Wi-Fi, необходимо достаточно много точек в зоне видимости без препятствий между трансмитером и приемником. Такие свойства позиционирования обусловлены способом определения местоположения, так как используется RSSI (received signal strenght indicator) и метод «Fingerprinting». Для построения необходимо иметь базу данных соответствий отпечатков кажной Wi-Fi точки и ее координаты, на основе этих данных, используя силу сигнала можно определить расстояние до устройства, получающего сигнал и по аналогии с GPS, используя трилатерацию и как минимум 3 Wi-Fi точки определить координаты устройства. При реализации данного типа навигации на базе существубщей инфраструктуры былы выявлены следующие проблемы:

1. Недостаточное пересечение областей покрытия Wi-Fi - очень малое количество мест общественного пользования оснащены достаточным количеством Wi-Fi роутеров, даже если покрытие аэропорта достигало 100%, в каждом конкретном месте было в основном 1-2 видимых точки, что не позволяет однозначно определить метоположение пользователя (пересочение 2 окружностей может дать 2 точки пересечения).
2. Недействительное соответствие значения RSSI и расстояния – из-за частоты работы в диапазоне между 2400-2500 MHz, сигнал не обладает достаточной силой и перекрывается многими другими устройствами, так же работающими в этом диапазоне, из-за чего за частую даже при появлении 3 роутеров в зоне видимости RSSI был слошком мал и пересечения 3 окружностей с центрами в координатах роутера и и радиусом равным посчитанному расстоянию на основе RSSI не было. Погрешность вычисления в таком случае слишком велика.

Из-за этих особенностей была невозможна реализация проекта согласно поставленной задаче, так как погрешность вычисления слишком велика. Тем не менее, этот способ позиционирования имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

1. Возможность использовать существующую инфраструктуру. При постановке задачи определения комнаты в которой находится устройство или любой другой задачи позиционирования устройств внутри помещений, не требующих высокой точности определения местоположения этот способ является самым дешевым при наличии покрытия Wi-Fi сетью.
2. Низкое энергопотребление. При использовании Wi-Fi позиционирования вместо GPS значительно уменьшается энергопотребление.
3. Достаточно большой радиус действия. Wi-Fi сигнал способен распространяться вплоть до 150 метров.
4. Возможность определить этаж. За счет уникального отпечатка каждого роутера, есть возможность хранить в базе соответствие отпечатков и этажей и определяя самый сильный сигнал возможно определить, на каком этаже находится устройство.

Недостатки:

1. Низкая точность. Точность позиционирования даже при специально подготовленной инфраструктуре будет не менее 15 метров.
2. Высокая цена улучшения инфраструктуры. Цена установки новой точки будет складываться из стоимости роутера, витой пары нужной длинны, а так же подведения питания и работ по установке.

*1.1.1.2. Геомагнитное позиционирование*

Геомагнитное позиционирование основано на магнитном поле земли, а именно на аномалиях в магнитном поле, которые и используются в этом методе позиционирования. Погрешность при использовании данного подхода примерно равна 2 метрам. Перед осуществлением навигации, необходимо подготовить карту геомагнитных аномалий на карте, а также перед каждым сеансом необходимо произвести корректировку магнетометра, после чего позиционирование будет готово к работе.

При реализации текущего подхода, сразу были выявлены недостатки, магнитное поле в крупных зданиях не такое постоянно и современная архитектура, и обилие электронных устройств создает множество динамических аномалий, из-за которых построение постоянной карты здания становится невозможным. Таким образом, эмпирическим путем было выявлено несоответствие заявленой погрешности и реальной.

К тому же, из-за того, что крупные здания обвиты проводкой, поле в которой меняется в зависимости подключенной нагрузке, сильно меняя конфигурациюмагнитного поля вокруг себя, карта аномалий может меняться на протяжении дня, в зависимости от загружености.

Все это явилось причиной отказа от этого подхода. Тем не менее, данный подход широко используется в местах без доступа GPS сигнала и статичным полем аномалий, например, на подземных стоянках и складах, где расстояние до стен достаточно велико, а количество носимых устройств недостаточно велико, чтобы динамически влиять на магнитное поле. Финский университет Уолу представил прототип описаной системы для использования в мобильных устройствах внутри помещений.

*1.1.1.3. Ориентирование по базовым станциям операторов сотовой связи.*

GSM ориентирование основано на триангуляции сигнала сотовых вышек. Каждая базовая станция регулярно транслирует сигнал в открытый эфир, чтобы телефоны могли понимать, находятся ли они в зоне покрытия. Обычно, в городах телефоны находятся в зоне покрытий сразу нескольких базовых станций и телефон выбирает базовую станцию своего оператора с наилучшим сигналом. Сам же телефон с низкой периодичностью сообщает сети о том какую базовую станцию он «слышит» лучше всего, для упрощения доставки входящих звонков, обычно, когда сигнал с последней переданной станции становится слишком слабым. Это сделано для экономии заряда мобильных девайсов. Таким образом процесс определения местоположения в данном случае должен осуществляться на мобильном устройстве. Этот подход подходит для решения поставленой задачи. Для определения своего местоположения достаточно знать координаты видимых базовых станций, который можно взять из открытых источников и используя силу сигнала вычислить расстояние между абонентом и базовой станцией. В случае одной видимой базовой станции мы получаем окружность с центром в точке расположения станции и радиусом равным расстоянию между устройством и станцией, такая погрешность может доходить до 32 км, что является не приемлемым для нашей задачи. Рассматривая лучший случай, когда мы имеем 2 и более базовых станций, сила сигнала которых настроена на минимальные значения, мы получаем 2 и более окружностей, которые могут иметь или не иметь область пересечения. Такое поведение обусловлено физическими свойствами сигналов и большой погрешностью на закрытых площадях. В данном случае мы можем сократить погрешность до 100 метров. Таким образом можно сделать вывод, что данный подход нельзя использовать для решения поставленой задачи. Однако данный подход имеет свои преимущества и недостатки:

Преимущества:

1. Хорошее покрытие купных городов базовыми GSM станциями.
2. Возможность использовать базовые станции всех операторов связи.
3. Низкое энергопотребление.

Недостатки:

1. Большая погрешность вычислений.
2. Сложность улучшения инфраструктуры.
3. Невозможность определить высоту

*1.1.1.4. Технология iBeacon*

Определение местоположения при помощи bluetooth iBeacon маячков выгладит следующим образом: по всему периметру расставлены Bluetooth метки, которые придерживаясь протокола вещения для iBeacon производят широковещательную рассылку, которая, согласно типизации iBeacon протокола, содержит идентифицирующую их информацию. Мобильное устройство принимает сигналы от всех маячков, сигнал от которых до них доходит. Используя полученные данные, мобильное устройство может сопоставить уникальные идентификаторы устройств с координатами. Которые были сохранены заранее. Для определния расстояния от устройства до маячка используется параметр RSSI.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – параметр силы сигнала, определенный в спецификафии Bluetooth. Этот параметр вычисляется пользовательским Bluetooth приемником и обозначает силу принимаемого сигнала. Чем выше этот параметр, тем ближе мы находимся к маячку. Для того чтобы определить расстояние в эмперических величинах, например, в метрах, нам понадобится другой параметр – MP, который описан на уровне iBeacon.

MP (Measured Power) – уровень сигнала в 1 метре от передатчика. Данное значение передается вместе с остальной частью уникального идентификатора устройства. Данный параметр задается каждому маячку на заводе и у маячков одного производителя и одной модели этот показатель может различаться.

Физически каждый Beacon маячек выглядит как небольшая плата с Bluetooth 4.0 LE (Low Energy). Протокол iBeacon – стандарт, представленный Apple формата широковещательного сообщения. Таким образом, для тестоввозможно использовать любое устройство, оснащенное Bluetooth 4.0 и выше. Для практической реализации достаточно купить недорогие Beacon маячки, которые состоят из батарейки, микроконтроллера, отвечающего за широковещание и периферийного модуля Bluetooth 4.0 LE.

Данная технология полностью удовлетворяет критериям поставленой задачи. Прототип системы, описаный с использованием данного подхода показал достойные результаты. iBeacon хорошо подходит для нашей задачи, но также, как и другие технологии имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

1. Низкая стоимость оборудования.
2. Не требует подключения к сетям питания или интернету.
3. Работоспособность до 3-х лет от одной батарейки.
4. Возможность прототипизирования системы с использованием мобильных телефонов, без покупки Beacon.
5. Небольшая пограшность вычислений, до 5 метров.
6. Легкое расширение инфраструктуры.
7. Определение этажей.
8. Низкое электропотребление пользовательского устройства.

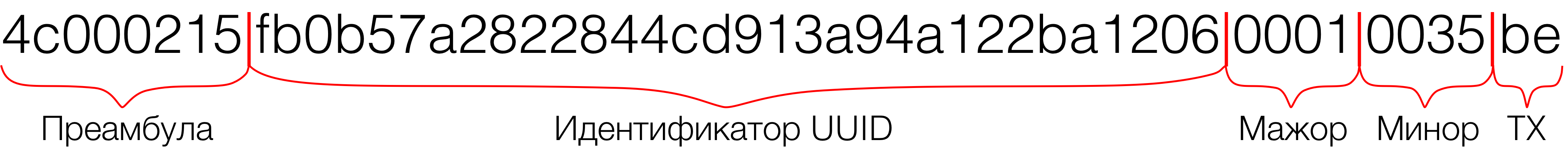
Минусы:

1. Необходимость контроля за состоянием элементов питания во всех маячках.
2. Слабый сигнал, который блокируется перекрытиями.
3. Необходимость вручную развешивать маячки и сохранять их координаты и уникальный идентификатор в базе.
4. Отражение радиосигнала от поверхностей.
5. Зависимость от направленности излучения маячка и пользовательского устройства.

1.2. Форматы передачи данных

1.2.1. Формат данных iBeacon

iBeacon – технология, представленная Apple в iOS 7, которая расширила возможности библиотеки для работы со службами геолокации в iOS. Вместо геолокации по широте и долготе iBeacon использует низкоэнергетический сигнал Bluetooth, который обнаруживается телефоном. Формат данных строго типизирован и детально описан на официальном сайте Apple для разработчкиков.



Преамбула – занимает 4 байта и является префиксным значением, определяющим что это Beacon маячек. Данный префикс всегда 4c000215.

Идентификатор UUID – на него отведено 16 байт, этот идентификатор не уникален и определяет какую-то группу маячков. Представим, нам необходимо установить Beacon маячки в главном корпусе ВГУ, для решения данной задачи нам достаточно сгенерировать один UUID для всех маячков, таким образом мы сможем подписываться на сообщения только от этих устройств и не будем получать другие, которые так же могут быть установлены.

Мажор – на нее отведено 2 байта, это 2^16 = 65 536 различных значений. Мажор рекомендуется использорвать для определения большой группы маячков, иденцифицируемой одним значением UUID. В примере с оборудованием главного корпуса ВГУ, оптимально присвоить уникальное значение мажора каждому кабинету.

Минор – на него так же отведено 2 байта, этот параметр используется для однозначного определения маячка внутри группы.

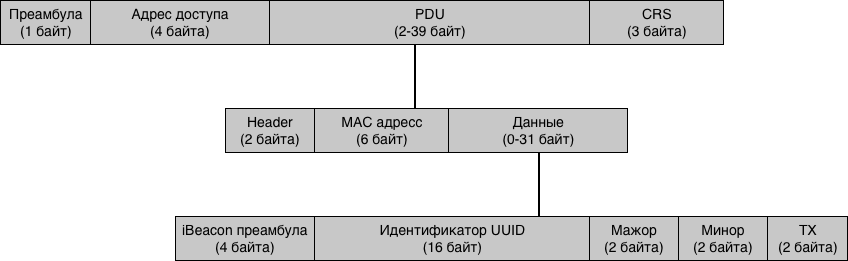
TX – занимает 2 байта в конце протокола и обозначает эталонное значение мощности маячка ( его значение RSSI) измеренное на заводе изготовителе на расстоянии 1 метра от маячка. Первый бит это знак, 1 соответствует отрицательный знак, а 0 - положительный. Именно благодаря этой константе мы можем использовать метрические координаты в пространстве. В схеме представленой на рисунке, значение TX равняется 0xBE, что соответствует числу 190 в десятичной системе счисления. Таким образом, эталонный RSSI на расстоянии 1 метра можно вычислить как 256-190 = -66 dBm.

Таким образом получая Связку UUID+мажор+минор можно однозначно определить от какого маячка был получен сигнал, после чего сделать выборку из базы координаты маячка с таким значением.

Так же для решения задачи Можно использовать несколько UUID, например назначить уникальный UUID для каждого этажа. Используя данный подход можно будет однозначно определить какую часть карты стоит открыть не делая запрос в базу.

1.2.1. Формат данных Bluetoth

iBeacon формат является одним из стандартов данных, которые могут быть записаны в свободную область данных формата Bluetooth. Любое мобильное устройство оснащенное Bluetooth модулем может считать информацию о Beacon маячках. Формат Bluetooth пакета имеет следующую форму.



Как видно из рисунка, iBeacon одно из заполнений области данных, слоя PDU в формате сообщения Bluetooth. Благодаря такому свободному формату, существуют аналоги формата iBeacon, например формат Eddisone, разработанный в google. Преимущество формата iBeacon поддержка большим количеством платформ, чем другие форматы. iBeacon формат не занимает всю область данных, отведенную в PDU, то есть при необходимости можно расширить формат и использовать оставшиеся 5 байт в своих целях.

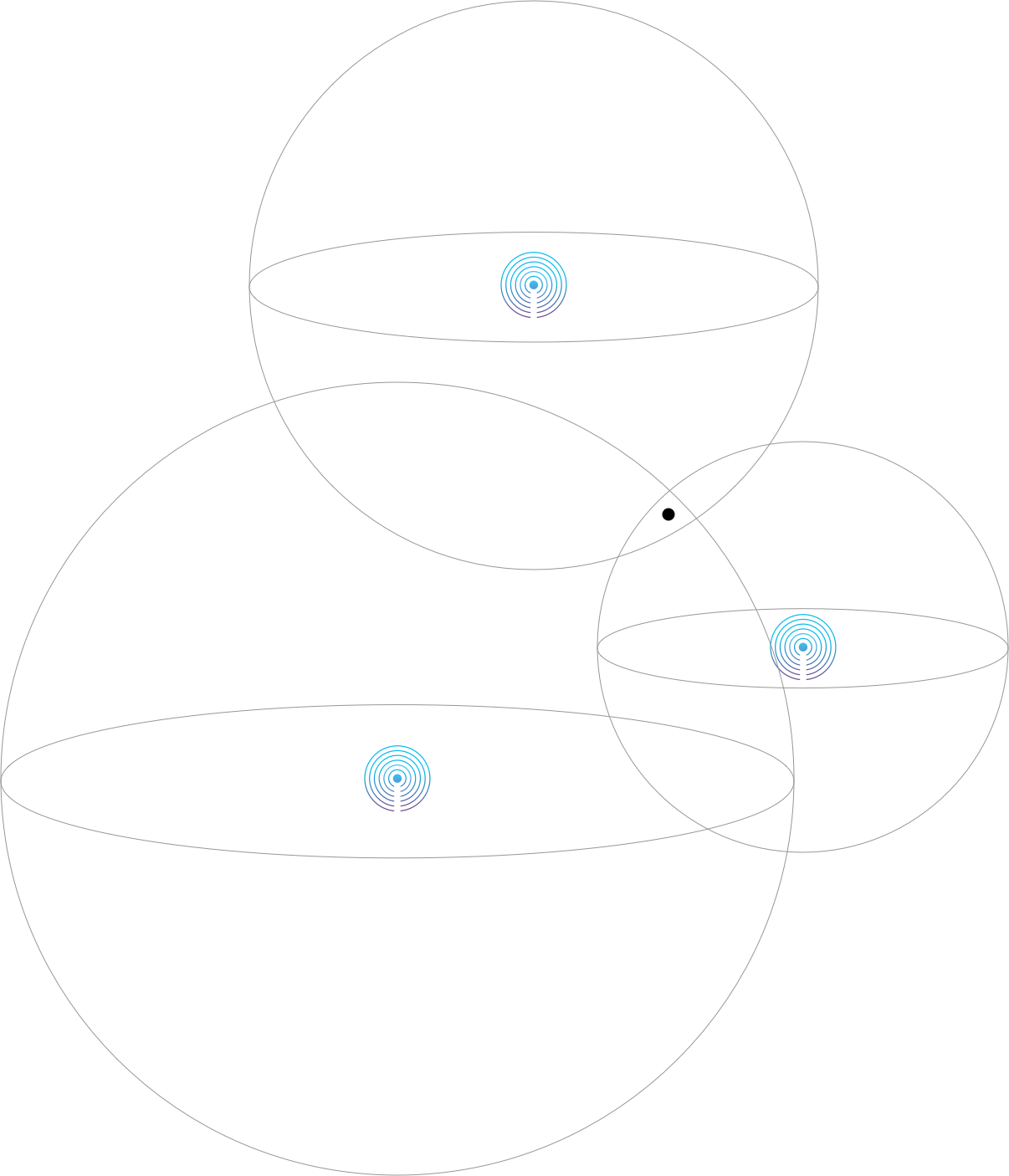
1.3. Алгоритмы определения местоположения.

1.2.1. Введение

Определение местоположения внутри помещений – фундаментальная проблема при программировании робототехники. Но в отличии решений, применяемых в робототехнике, мы не можем напрямую использовать встроеные сенсоры и команды для определения местоположения из-за того, что в движение мобильные устройства приводятся при помощи третьих лиц, в то время как в робототехнике возможно опираться на команды движения самого робота. Сделав обзор применяемых технологий для определения местоположения, можно сделать вывод, что практически все они основаны на радиоволнах. Используемая нами технология iBeacon так же использует радиоволны.

1.2.2. Алгоритм трилатерации

Трилатерация, это метод, позволяющий определить точку пересечения сигналов от передатчиком путем построения в пространстве трех смежных треугольников, в которых известны длины их сторон. Этот метод основан на линейной засечка, так же часто применяются методы триангуляции и полигонометрии, но для этих методов необходимо обладать информацией об углах.



Задача трехмерной трилатерации решается при помощи нахождения координат пересечения трех сфер, которые определяются при помощи решения системы уравнений. Для начала напишим систему уравнений для трех сфер, составленую следующим образом, так как любые 3 точки в пространстве образуют плоскость, поместим начало координат этой плоскости в центр одной из сфер, центр второй сферы поместим на ось координат Ox:

В точке (x, y, z) будет располагаться приемник. Для решения системы, вычтем второе уравнение из первого, благодаря чему найдем x:

Предположим, что две сферы имеют более одной точки пересечения, тогда имеет смысл следующее соответствие:

.

В этом случае, после подстановки x в уравнение первой сферы, находязейся в начале координат, получим уравнение окружности, которое является фигурой, пулучившейся в результате пересечения двух сфер.

Подставим в уравнение третьей серы равенство:

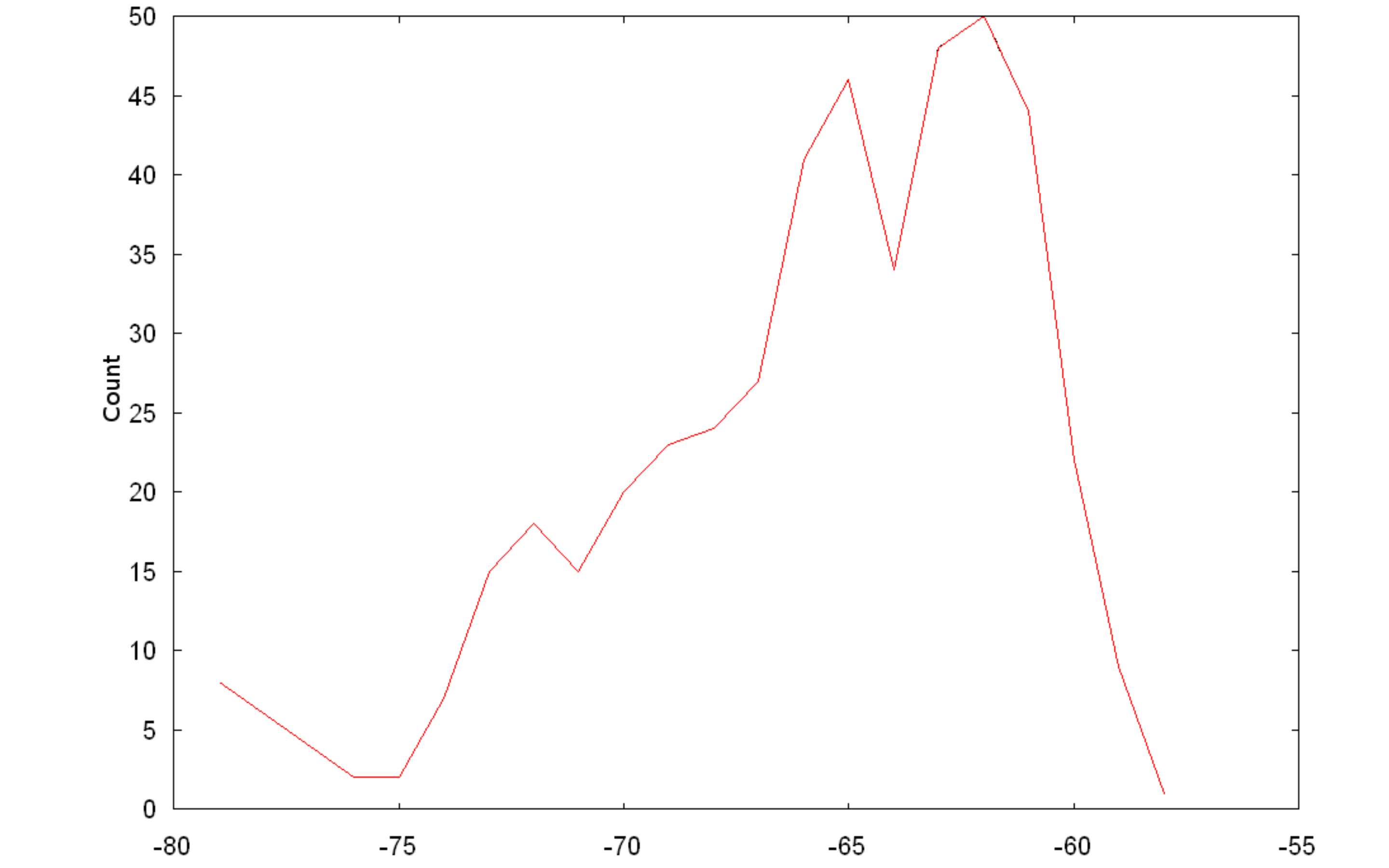
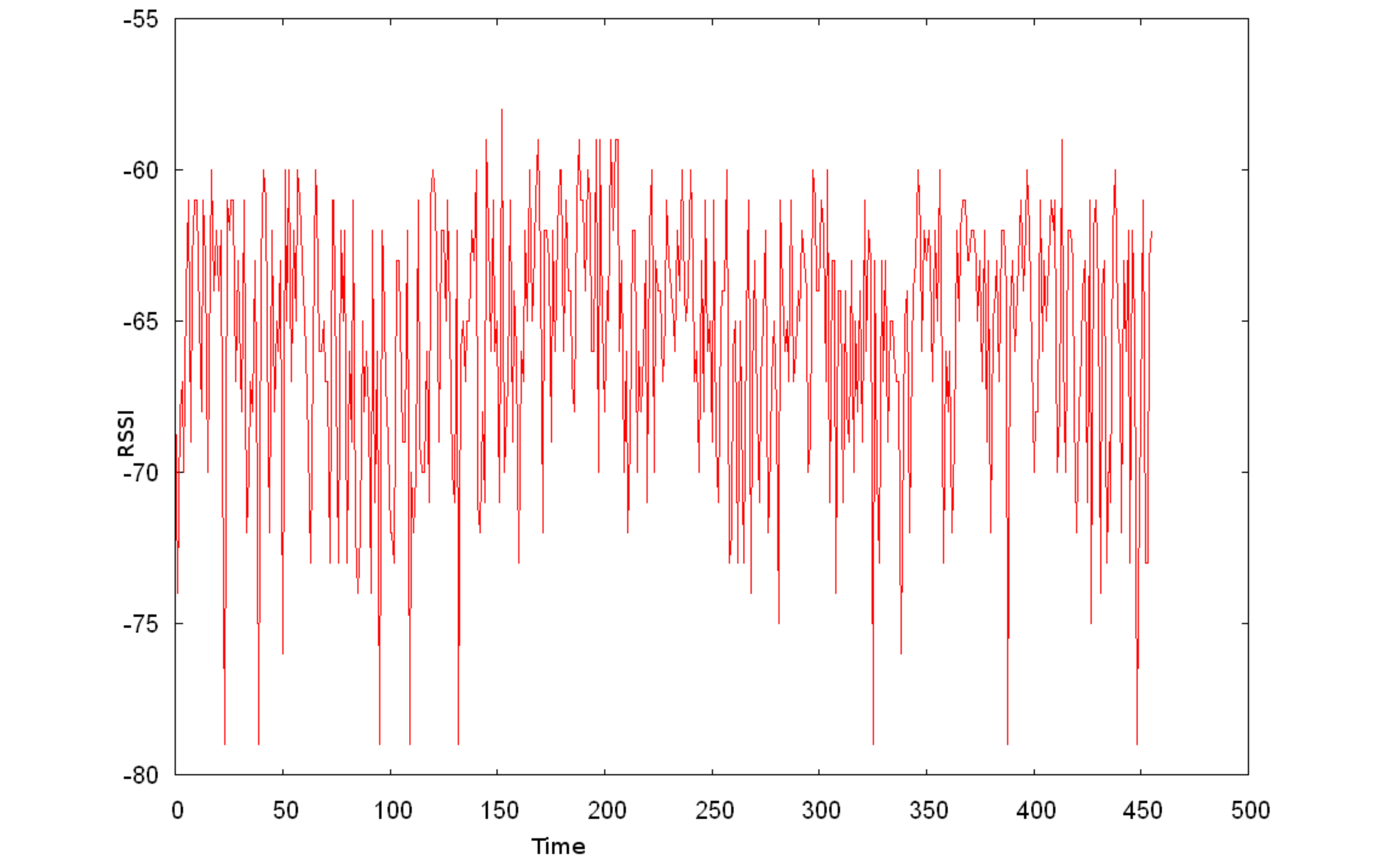
И найдем значение y:

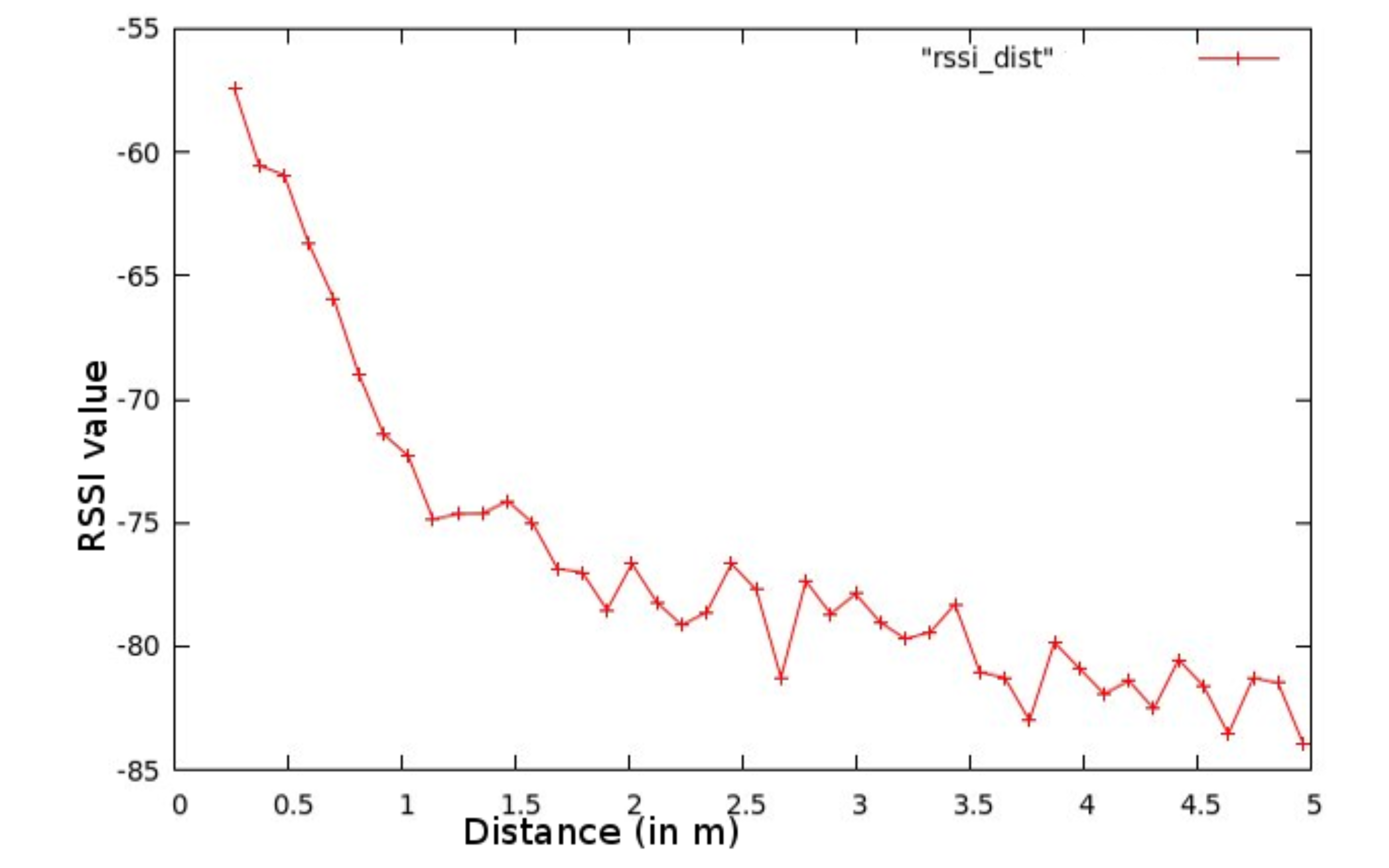
Зная координаты x и y, мы можем найти координату z:

Таким образом, мы вывели уравнение для координаты приемника, используя информацию, полученную от Bluetooth передатчиков. Как видно, координата высоты может принимать 2 значения. Это убусловлено тем что передатчики и приемник могут находиться не в одной плоскости, но для нашей задачи мы можем рассматривать только нижнее значение, так как маячки расположены выше поьзовательских устройств.

1.2.3. Практическая реализация алгоритма трилатерации

Получаемый от маячков параметр RSSI (Received Signal Strength Indicator) – параметр, позволяющий определить удаленность маячка от приемника сигнала. Это происходит следующим следующим образом: маячек широковещает свой уникальный идентификатор, в хвосте которого находится параметр TX. Используя параметр обозначающий эталонный RSSI на расстоянии 1 метр, производится деление текущего значения RSSI на эталонный. В теории, мы должны получить точное расстояние в метрах между приемником – мобильным устройством и передатчиком, Bluetooth маячком с форматом передачи данных iBeacon. Однако из-за физического эффекта интерференции сигналов, значение RSSI между стационарно установленными приемником и передатчиком непостоянно, что можно увидеть на графиках.





Как видно из представленных графиков, при использовании одного маячка можно получать разную удаленность при статичном расположении приемника и передатчика. Таким образом задача трилатерации в чистом виде не позволяет определить местоположение устройства. В данных условиях мы можем получить в пересечении трех сфер область, либо не получить точек пересечения сфер вообще. Для решения данной задачи необходимо было модифицировать алгоритм трилатерации, используя итеративный подход.

1.2.4. Алгоритм итеративной трилатерации.

Обозначим начальные точки и полученное расстояние как (*xi,* *yi)* и *di,* соответственно. Полученные при помощи тривиального алгоритма начальные координаты обозначим (*xe*, *ye)*.

Разница или ошибка рассчитывается по формуле:

Теперь, применяя аппроксимацию при помощи ряда Тейлора первой степени, можно найти (∆ *x*,∆ *y*) , используя следующие равенства:

Где B вычисляется следующим образом

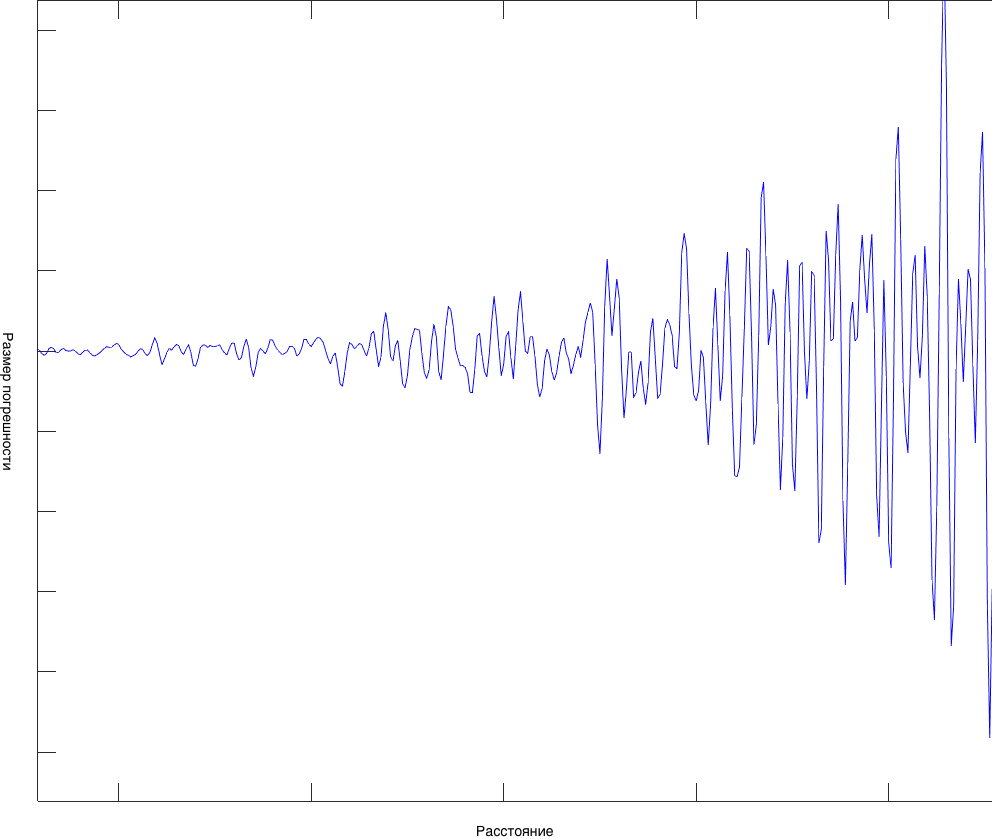
В результате получим:

Учитывая это, *fi* может быть рассчитан как:

Таким образом получаем дробное знаение, характеризующее ошибку. Итеративно необходимо повторять данные расчеты до тех пор, пора ошибка не уменьшится до заданной .

1.2.5. Практическая реализация алгоритма итеративной трилатерации.

В результате практичееской реализации алгоритма итеративной трилатерации, удалось решить проблемы отсутствия решений системы уравнений или же получения области решений уравнения. Для достижения необходимой точности, необходимо четко определить минимальное значение RSSI, значению которого можно доверять. Это необходимо сделать исходя из технических характеристик маячков, более дешевые решения, применяемые в дешевых маячках, имеют не достаточную силу сигнала, и точность определения расстояния обратно пропорциональна растоянию, то есть чем дальне мы находимся, тем меньше точность определения. Стоит заметить, что отношение значения погрешности к расстоянию выглядит очень похожим на экспоненциальную функцию.



То есть зная допустимую погрешность, можно определить минимальный уровень доверия маячку. Так же стоит учитывать маячки должны быть расположены таким образом, чтобы в любой точке помещения находилось какк минимум 3 маячка с уровнем RSSI выше порогового допустимого значения для точности. При наличии же физических препятствий или отражателей сигналов, таких как столбы, шкафы, зеркала необходимо размещать больше 3-х маячков с достоточной силой сигнала. Этот подход позволяет получить несколько значений и расчитать их среднее, для получения всех возможных сочетаний легко посчитать по формуле:

Где k=3 - элементы, необходимые для трилатерации местоположения, а n – различные маячки, где nk. Таким образом, увеличив количество видимых маячков с достаточной силой сигнала до 4, мы получим 4 координаты, усреднив значения которых, мы получим более точное значение. При 5 маячках, количество координат увеличивается до 10. Такое количество маячков позволяет определить местоположение с достаточной точностью даже в самых сложных условиях.

Ипользуя описанные решения, на прототипе вычисляется местоположение пользователя, но из-за оставшегося «шума», который проявляется в виде изменения координаты пользователя на дистанцию до 5 метров, при отсутствии физического движения. Для фильтрации «шума» недосточно только информации от маячков. Понять находиться ли устройство в покое или в движении можно при помощи встроенных в устройство сенсоров, магнетометра, гироскопа и акселерометра. Для того чтобы учитывать внешние атрибуты, подходят методы на основе рекурсивной оценки Байеса.

1.2.5. Методы на основе оценки Байеса.

Для интеграции данных о передвижении устройства, получаемых от сторонних сенсоров, были рассмотрены и реализованы многочастотный фильтр и фильтр Калмана. Фильтр Калмана предназначен для рекурсивного дооценивания вектора состояния априорно известной динамической системы, другими словами, для расчета текущего состояния системы, необходимо знать текущее состояние системы, а также предыдущее состояние самого фильтра. Алгоритм ориентирован на двуэтапную работу:

1. Этап прогнозирования. На первом этапе, фильтр Калмана экстаполирует значения переменных состояния, а также их неопределенности.
2. Этап уточнения. На втором этапе, по данным измерения, полученного с некоторой погрешностью, результат экстраполяции уточняется.

Благодаря пошаговой природе алгоритма, он может в реальном времени отслуживать состояние объекта.

Для интегции фильтра Калмана в нашу систему необходимо определить динамическую составляющую системы последовательных прилатераций. Управляющим воздействием будет информация о векторе движения, получаемая от надора датчиков, и множество последовательных измерений местоположения методм прилатерации маячков для формирования реальной оценки состояния.

Координату мобильного устройства можно описать законом:

*(1)*

Из-за невозможности опираться только на сенсоры, к правой части добавится случайная величина .

*(2)*

У нас есть алгоритм получения координат от внешних маячков, для использования его с фильтром Калмана добавим к этим координатам ошибку распространения навигационного сигнала, обозначенную за , которая будет являться случайной величиной. В результате получим ошибочные данные вычисления координаты:

*(3)*

Итоговая задача фильтрации будет состоять в том, чтобы используя неверные показания сенсора , добиться достаточно точного приближения к В результате, получаем уравнение системы для мобильного девайса с использованием набора сенсоров и вычислением позиции по маячкам будет иметь следующий вид:

(4)

Где – известная временная, контролирующая изменение системы, она определяется из вектора движения, полученного от датчиков.

и – ошибки изменения вектора системы и датчиков, соответственно.

Если для k-го шага известно значение сенсора , отфильтрованое таким образом, что приближает истинную координату достаточно, то на следующем шаге становится известно неточное показание сенсора

Задача интеграции фильтра Калмана для использования с определением местоположения при помощи iBeacon внешних маячком и набора внутринних сенсоров состоит в получении наилучшего приближения к истинной кооординате , из ошибочных показаний сенсора и предсказаний истинного значения - . Для этого необходимо добавить коэффициент, определяющий вес сенсора K, а предсказанному значению (1-K). В результате чего будет получена следующая формула:

(5)

Где K – коэффициент Калмана шага.

Коэффициент Калмана должен быть выбран так, чтобы получившееся оптимальное значение координаты было наиболее близко к истинной координате Представим что нам известно, что в данном здании маячки установлены свысокой плотностью и количество препятствий, ослабляющих сигнал миниматьно, в таком случае определние координат при помощи iBeacon маячков будет обладать высокой точностью. Для того чтобы доверять координатам результата трилатерации маячков, значению коэффициента K устанавливается больший вес. Если же мы понимаем что в области определения местоположение сигнал маячков слаб или количество маячков не большое, либо же вообще не достаточно (меньше трех), то ориентацию в этой части помещения лучше производить используя вектор движения, полученный от встроенных датчиков, то есть увеличить коэффициент Калмана для вектора сенсоров.

Для нахождения точного значения коэффициента Калмана, необходимо произвести минимиззацию ошибки:

*(6)*

Используя уравнение (4), получим:

(7)

Для рассматриваемой системы критерием минимизации можно считать среднее значение от квадрата ошибки:

(8)

Таким образом, применяя уравнение (7) и критерий минимизации (8), получаем:

(9)

Минимальное значение уравнение (9) принимает при:

*(10)*

Подставив в среднеквадратичкую ошибку , миниммизирующее значение коэффициента Калмана , получим следующее:

(11)

Таким образом мы полностью интегрировали фильтрацию Калмана по данным датчиков к существующему алгоритму трилатерации.

Формула (11) является итерационной и позволяет находить коэффициент Калмана.

Формулы (5) и (11) позволяют найти приближения расчитанной координаты к вектору скорости, путем подсчета коэффициента Калмана.

Многочастотный фильтр – последовательный метод Монте-Карло – рекурсивный алгоритм для численного решения проблем оценивания – фильтрации и сглаживания. Особенно для нелинейных и негауссовских случаев. В отличии от фильтра Калмана многочастотные фильтры не зависят от методов линеализации и апроксимации. Детально рассматривать данный подход не имеет смысла, так как

эмпирическим путем было выявлено, что блягодаря своей пошаговой природе, фильтр Калмана лучше справляется с устранением шума. К тому же, при движении он обеспечивает оптимальное сглаживание, за счет вектора состояния.