

УДК 004.9

ТЕХНОЛОГИЯ «INDOOR NAVIGATION» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «BLE BEACONS»

Филиппов С.С., студент гр. ИТм–191, II курс,
Ванеев О.Н., к.т.н., доцент,
Научный руководитель: Ванеев О.Н., к.т.н., доцент,
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева.
г. Кемерово

Обычно для навигации от точки А к точке Б используется GPS. Но поскольку GPS не работает в помещении, необходима другая система. Вот почему используется внутренняя навигация.

Indoor Navigation - это навигация и обнаружение объектов (устройств или людей) внутри здания с помощью радиоволн, магнитного поля, акустических сигналов или других технологий.

С помощью данной технологии можно разместить объекты на карте и удобно указывать местоположение чего-либо на экранах мобильных устройства. Эта технология может питать умные здания, улучшая навигацию и сокращая время, затрачиваемое на поиск предметов. Это также дает владельцам бизнеса возможность предоставлять контент и рекламу на основе местоположения. Варианты использования такой навигации включают:

- Аэропорты: пользователи приложения для смартфонов со службами определения местоположения могут легко перемещаться, получая информацию о ближайшей контрольной линии, расстоянии до выхода на посадку, время посадки и многое другое.
- Торговые центры: могут использовать маячки для отправки уведомлений о купонах на скидку и специальных предложениях.
- Музеи: технология позволяет посетителям перемещаться по различным разделам и может предоставлять карты и аудиогид, что улучшает взаимодействие с пользователем.
- Слежение за персоналом: для владельцев предприятий важно, где и когда был их сотрудник, на основе данной технологии можно удобно строить трек его передвижений. Появляется также возможность предупреждать о каких-либо опасностях в конкретной зоне.

Существуют различные технологии позиционирования в помещении, включая Bluetooth с низким энергопотреблением (BLE), Wi-Fi, обнаружение магнитного поля, сверхширокополосный доступ и многое другое. Они часто различаются по стоимости, усилиям, точности и совместимости:

- Маяки: технология маяков означает, что владелец помещения устанавливает в здании несколько небольших маяков. Эти маяки передают непрерывный радиосигнал. Сила сигнала от различных радиомаяков преобразуется алгоритмом в относительные расстояния.
- Системы на базе WiFi: система на основе WiFi строится на метках, которые являются передатчиками WiFi. Эти теги отправляют простые пакеты в точки доступа Wi-Fi в здании. Датчики внутренней навигации рассчитывают и сообщают время и силу этого показания.
- Сверхширокополосные системы: сверхширокополосный передатчик передает широкий импульс в диапазоне ГГц. СШП создают короткую и мгновенную серию, так что сверхширокополосные считыватели могут сообщать точное измерение времени. Эта система относительно дорога, потому что для точного позиционирования необходимо много меток.
- Акустические системы: акустические системы работают как СШП. Разница в том, что акустическая система использует звук вместо радиосигналов. Приемники улавливают звук и находят метки.
- Инфракрасные системы: инфракрасные (ИК) системы используют инфракрасные световые импульсы для обнаружения сигналов внутри здания. В каждой комнате установлены ИК-приемники. Затем ИК-приемник считывает устройство, когда ИК-метка пульсирует.

Проанализировав все варианты по принципу стоимость-эффективность было принято использовать Bluetooth Low Energy. Позиционирование в помещении основывается на BLE маяках, установленных на объектах, стенах, потолках и других местах, откуда они излучают радиосигналы с заданными интервалами. Затем устройства в зоне излучения обнаруживают сигнал, и это помогает установить, находятся ли два (передатчик и приемник) в пределах досягаемости друг друга. Хотя одного маяка достаточно для определения присутствия объекта, он не может точно определить конкретное местоположение. Обычно точность определения местоположения увеличивается с увеличением количества маяков. Установив, что два объекта находятся рядом друг с другом, службы определения местоположения Bluetooth могут использовать индикатор уровня принятого сигнала (RSSI) для оценки расстояния между ними. **RSSI** - это представление мощности сигнала маяка. Значение мало, если расстояние велико, и больше, если оно ближе.

Более старые версии Bluetooth обеспечивают точность до метрового уровня. Но по мере развития технологий новые версии поставляются с расширенными функциями и возможностями интеграции, которые улучшают службы определения местоположения.

В частности, новая функция пеленгации **Real-time Locating Systems в Bluetooth 5.1** повышает точность до сантиметрового уровня. Это и другие достижения позволяют организациям создавать широкий спектр надежных и точных решений и приложений для определения местоположения внутри

помещений. Это дает возможность определять направление сигнала, тем самым улучшая точность определения близости и местоположения.

Функция пеленгации зависит от угла прибытия (AoA), угла вылета (AoD) или обоих. Принцип работы можно увидеть на рисунке 1.

Угол прибытия (AoA) - актив с одной антенной, Bluetooth-тег (Tx) передает свое местоположение на приемное устройство с множеством антенн. Затем приемное устройство определяет разность фаз, тем самым оценивая угол и направление сигнала.

Угол съезда (AoD) - в этом подходе фиксированные радиомаяки Bluetooth используют коммутируемые антенные решетки для отправки сигналов радиопеленгации, таких как координаты. С другой стороны, устройство с одной антенной, такое как смартфон, принимает сигналы и оценивает их относительное направление.

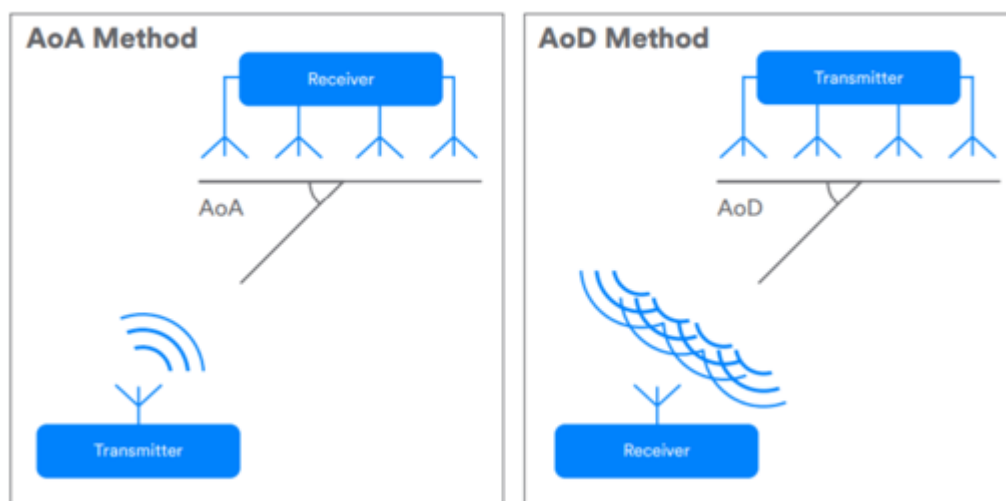


Рисунок 1

Идеальным решением будет закупить оборудование с Bluetooth 5.1, BLE маяки с RTLS и на выходе получить высокоточную внутреннюю навигацию. К сожалению не все компании готовы, пойти на переоборудование своих устройств и закупку новых, при этом готовы пожертвовать точностью, а добавить конкурентное преимущество хотят. О том как мы реализовали данную систему я хочу рассказать более подробно.

Первым шагом в реализации системы стало покупка тех самых BLE меток. Выбирали недорогие варианты, так как RTLS нам было не нужно из-за множества устройств с функцией Bluetooth 4.0. Из множества маяков представленных на рынке были взяты несколько моделей и выяснилось, модель маяков, на передаваемый сигнал RSSI, влияет посредственно и выбор основывался только на характеристиках самого устройства (время работы, приложения для прошивки, стоимостью, диапазон сигнала). Для нашей системы были взяты стационарные маяки с большим временем работы.

Как оказалось работать с маяками, что называется «из коробки» нельзя. Основная проблема с которой мы столкнулись это было калибровка датчика. Каждый маяк имеет 3 базовых значения:

- a. Среднее время отправки сигнала - время за которое отправляется сигнал с маяка. Влияет на наложение сигнала.
- b. Уровень сигнала на расстояние в 1 метр - важный параметр для определение дистанции от маяка до устройства. Как не странно даже у маяков одной модели, это параметр может быть разный.
- c. Сила сигнала от маяка - сила с которой маяк будет отправлять сигнал в начальной точке, что позволяет локализовать сигнал.

Важным также оказалось размещение маяков. Показания RSSI были разные если перед устройством поставить, отражатель(стол, книгу, человека) или добавить шума(WiFi). Это стоит учитывать при выборе значения RSSI на метр, или разместить датчики под потолком, что сводит потери сигнала к минимуму.

RSSI это - хорошо, но как это поможет найти устройство в пространстве? Первое, что с помощью него мы можем определить это - расстояние от каждого маяка до устройства. Которое в свою очередь приблизит нас уже к определению позиционирования.

Были взяты два метода определения расстояния и провели их сравнения таблица 1:

$$1. d = 10^{\frac{rssi_0 - rssi}{10 * n}} \text{ где:}$$

d - дистанция до устройства;

rssi₀- уровень сигнала на расстояние в 1 метр;

rssi - уровень сигнала от устройства до маяка;

n - коэффициент потерь мощности сигнала при распространении в среде, безразмерная величина для воздуха n = 2; (увеличивается при наличии препятствий);

$$2. ratio = \frac{rssi}{rssi_0} d = 0.89976 * ratio^{7.7095} + 0,111 \text{ где:}$$

d - дистанция до устройства;

rssi₀- уровень сигнала на расстояние в 1 метр;

rssi - уровень сигнала от устройства до маяка;

Числа 0,89976, 7,7095 и 0,111 - это постоянные значения, установленные разработчиком этого метода без дополнительных пояснений.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Расстояние, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Метод 1, м	1,05	1,96	3,09	4,14	5,26	6,59	7,99	9,42	10,68	12,13
Метод 2, м	1,12	2,36	2,84	3,89	5,07	5,98	7,54	8,76	9,87	11,66

Таблица 1

Как можно заметить, первый метод считает дистанцию более точно до 5 метров, далее появляется сильная ошибка. Во внутренней навигации 5 метров

для одного маяка более чем достаточно приняли использовать первый метод для подсчета расстояния.

К сожалению RSSI с маяка, не приходит одним значением, а это случайная величина в определенном периоде и делать расчет дистанции на таком «заборе» не правильно. Для того, чтобы «сгладить» данные и снизить воздействие случайных всплесков, мы использовали фильтр [Калмана](#) рисунок 2.

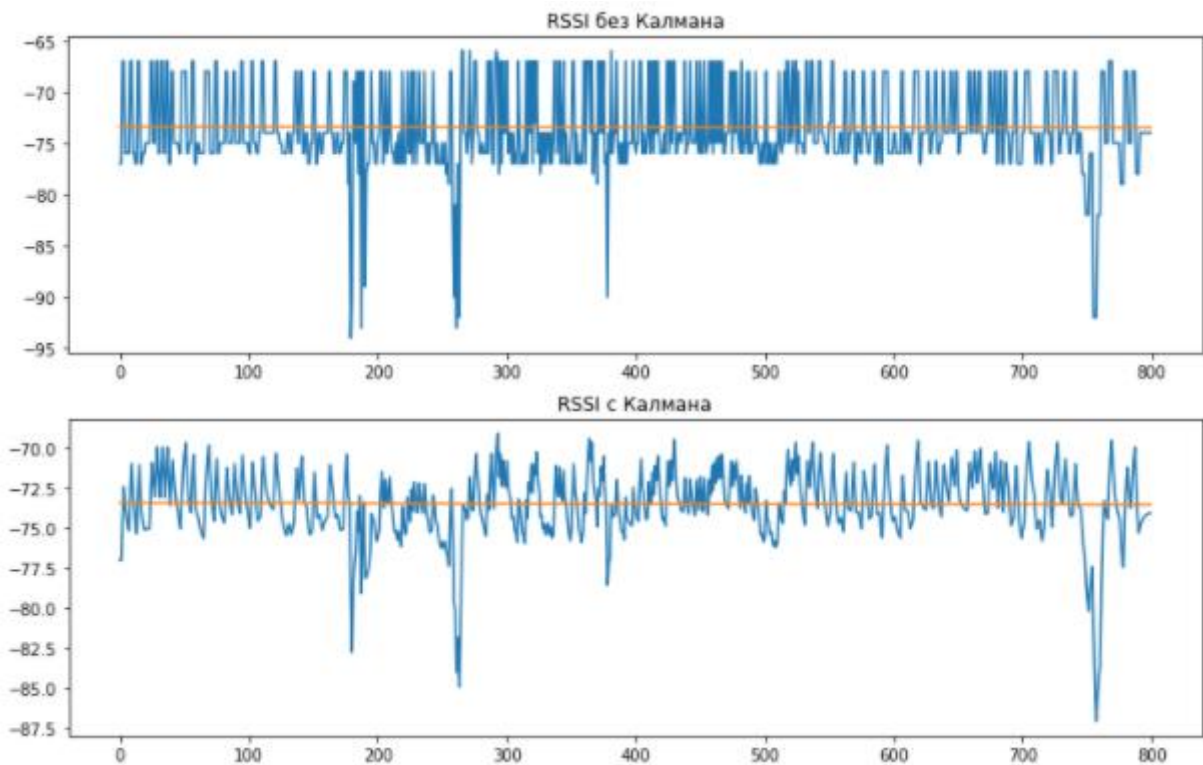


Рисунок 2

Следовательно после сглаживания RSSI, сгладится и график расстояния рисунок 3.

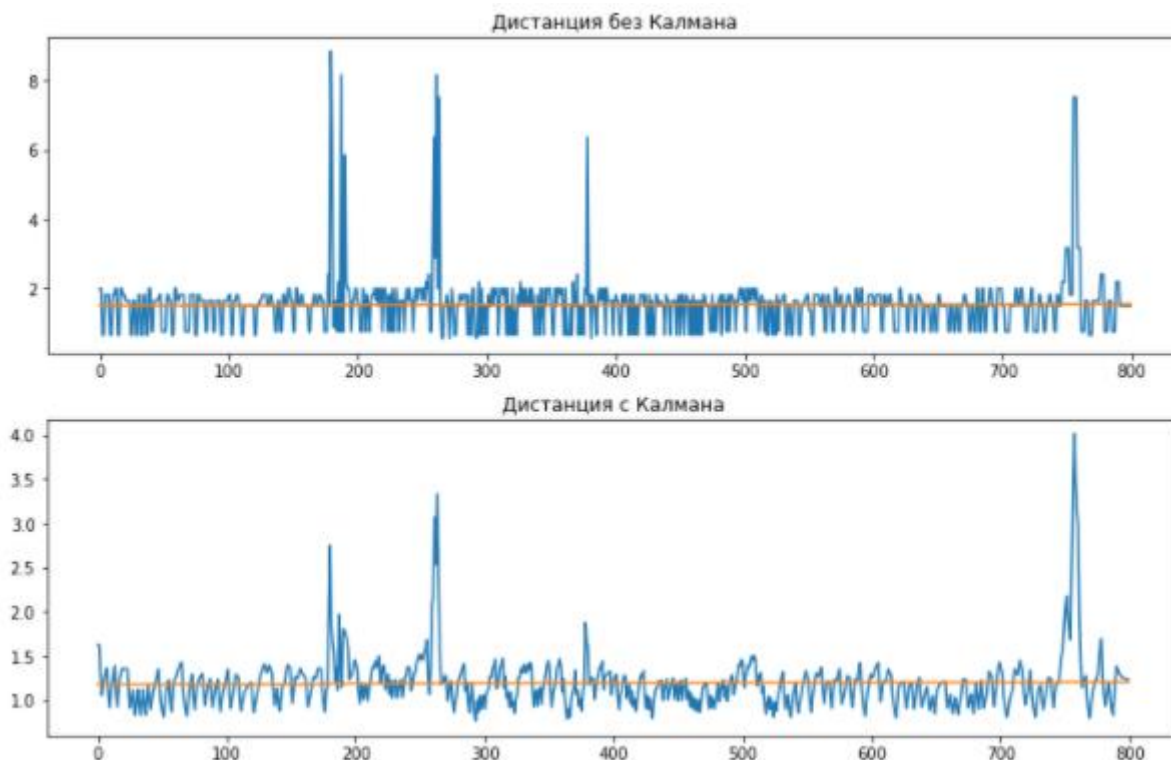


Рисунок 3

Теперь когда мы знаем расстояние от маяка до устройства, мы можем найти местоположение устройства. Есть 6 типов расчета позиционирования:

1. Близость - это простой метод определения местоположения, позволяющий указать близость устройства к контрольной точке.
2. [Трилатерация](#) - математическое уравнение для расчета местоположения на основе не менее трех контрольных точек положения.
3. Гиперболическая латерация - математическое уравнение для расчета разницы между временами прихода сигнала на основе местоположения как минимум из трех контрольных точек.
4. Триангуляция - математическое уравнение для расчета местоположения на основе угла прихода сигналов, идущих от устройства к контрольной точке.
5. Отпечаток пальца - метод сохранения значений индикации уровня принятого сигнала (RSSI) из разных источников в базе данных, и когда другие устройства считывают ту же информацию из базы данных, они могут возвращать оценочное положение на основе предыдущих записей.
6. Dead Reckoning - математическое уравнение для прогнозирования вектора на основе предыдущих данных о направлении и скорости.

В нашем случае методы: 3,4,6 - неприменимы, так как данные для них попросту отсутствуют. Метод 1 - даст точность уровня «где-то» запасной вариант. Метод 5 - расчет постфактум, если заказчику не нужно знать положение сотрудника в данный момент, отличное решение, но не для нас. **Остается метод 2.**

Метод трилатерации представляет собой создания трех кругов из маяков, где радиус круга - расстояние от маяка до устройства. Пересечение всех трех кругов и дает нам местоположение устройства рисунок 4.

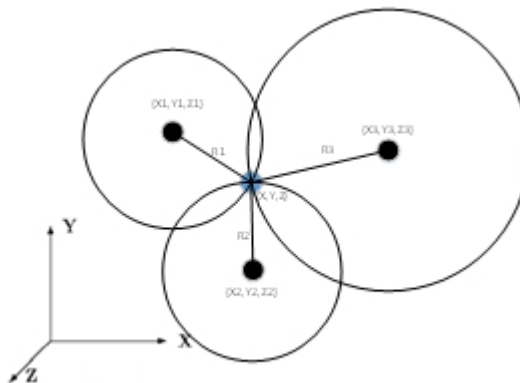


Рисунок 4

Точность данного метода, как и любого другого зависит от точности расстояния от устройства до маяка. А так как RSSI пришедший с маяка, вещь ненадежная, даже сглаживание на основе предыдущих данных слабо помогает. Как уже говорилось для использование трилатерации нужно иметь также не менее 3 маяков в радиусе устройства. Если этих маяков нет, приходится использовать метод близости и притягивать устройство к ближайшему маяку. Точность такой системы составляет 1-5м, что назвать высокоточным, можно с натяжкой.

Список литературы:

1. Bluetooth Indoor Positioning and Tracking [Электронный ресурс]. – <https://medium.com/supplyframe-hardware/bluetooth-indoor-positioning-and-asset-tracking-solutions-8c78cae0a03>
2. What is Indoor Navigation? [Электронный ресурс]. – <https://nearmotion.com/news/what-is-indoor-navigation/>
3. Indoor positioning system [Электронный ресурс]. – https://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_positioning_system
4. An Indoor Positioning Algorithm Using Bluetooth Low Energy [Электронный ресурс]. – <https://www.atlantis-press.com/article/25858154.pdf>

5. Indoor Navigation System for Handheld Devices [Электронный ресурс]. – https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-102209-164024/unrestricted/Indoor_Navigation_System_for_Handheld_Devices.pdf
6. Фильтр Калмана — Введение [Электронный ресурс]. – <https://habr.com/ru/post/140274/>
7. Indoor Equipment Localization System: System Design [Электронный ресурс]. – <https://habr.com/ru/post/140274/>