

IPS-технология на основе Bluetooth Low Energy

Р. О. Хилажев, Л. В. Просвирякова

Статья посвящена исследованию технологии IPS на основе датчиков Bluetooth Low Energy (Smart) и её аналогов для последующей технической реализации на примере учебных корпусов ИрНИТУ.

Ключевые слова: навигация, Bluetooth, маяк, спутник, местоположение, iBeacon, Indoor Atlas.

1. Введение

В настоящее время трудно переоценить важность точной навигации в повседневной жизни человека – с помощью спутниковой навигации, смартфона или специализированного приложения можно с легкостью найти нужный магазин, остановку общественного транспорта, ближайший банкомат и многое другое. Но как только вы оказываетесь в здании, особенно большом, спутниковая навигация не может обеспечить вам такую точную геопозицию, как и на улице, поскольку сигнал сталкивается с множеством помех и препятствий.

В случае, когда системы спутниковой навигации бессильны, на помощь приходят так называемые системы позиционирования в помещении (Indoor Positioning Systems, IPS). Данные системы могут быть основаны на различных технологиях, которые чаще всего используют наземные точки для определения вашего местоположения, например, базовые станции сотовой связи, передатчики Wi-Fi, маячки Bluetooth и т.д. [1].

Целью данной работы является исследование возможности создания системы навигации в больших помещениях с применением современных беспроводных технологий.

2. Обзор методов и технологий IPS

На сегодняшний день существует несколько основных подходов к навигации внутри помещения, все они имеют как отличия, так и схожие черты – чаще всего навигационные системы ограниченного пространства строятся на основе системы определяющих точек. Так, для различных методов использования навигационных технологий это могут быть как точки Wi-Fi, так и базовые станции сотовой связи, также существует система, основой которой является магнитное поле Земли. Примеры использования таких технологий приведены ниже.

1. Технология определения местоположения по базовым станциям сотовой связи. Данная технология использует координаты базовой станции сотовой связи для определения местоположения мобильного устройства, которое находится в зоне её действия, точность навигации увеличивается при попадании устройства в зону действия нескольких станции одновременно. Но данная технология всё же не является очень точной, поскольку базовая станция может быть удалена от устройства на очень большое расстояние.

2. Внутренняя навигация, основанная на сетях Wi-Fi. Этот способ является одним из самых легкодоступных для реализации, так как почти в каждом здании сейчас имеются сети Wi-Fi, но сеть, построенная на точках, обеспечивающих интернет-соединение, будет иметь

плохую точность определения местоположения, поскольку Wi-Fi-роутеры могут не иметь координат или менять их со временем (такие точки легко могут переноситься). Радиус определения местоположения по такому типу составляет около 20–25 метров. Если выстраивать специальную навигационную сеть Wi-Fi-передатчиков, то тогда такой проект становится дорогим, так как в таком случае нужно не только создать сеть передатчиков, но и постоянно их обслуживать. Также нужно предусматривать возможность появления помех от Wi-Fi, отвечающих за передачу интернета, так как работа осуществляется в одном частотном диапазоне.

3. Навигация в финской системе InDoorAtlas основана на принципе, что каждое здание имеет свой собственный рисунок искажений магнитного поля. Искажения вызывают материалы, из которых построено здание, его конструктивные особенности и географическое положение. На этот рисунок накладывается карта, по которой предлагается ориентироваться. Данный способ очень необычный, но и очень труднореализуемый. Необходимо учитывать, что геомагнитные искажения могут изменяться от воздействия большого количества радиоэлектронных устройств пользователей, а также из-за изменений конфигурации расположения больших предметов в помещении или даже подключенных электрических устройств [2].

4. Технология iBeacon, основанная на использовании маяков Bluetooth Low Energy, была разработана компанией Apple и представлена в 2013 г. Была добавлена в iOS начиная с версии 7. Миниатюрные маячки способны связываться с устройствами пользователей и определять их местоположение, а также отправлять им различные уведомления. iBeacon нашла свое применение в торговле, навигации и сборе статистики. Именно эту технологию мы рассмотрим подробнее, так как она имеет множество плюсов в практической реализации по сравнению с рассмотренными выше.

3. Характеристики Bluetooth и BLE

BLE (Bluetooth Low Energy), также известная под маркетинговым именем Bluetooth Smart, имеет низкое энергопотребление за счет того, что устройства «спят» большую часть времени. BLE встроен в большинство смартфонов, умных часов, гарнитур и прочих аксессуаров с поддержкой Bluetooth 4.0+.

Маяк на основе BLE может быть как автономным устройством, работающим от аккумулятора, в зависимости от объема которого он будет осуществлять работу 1–3 года, так и быть подключенным к сети. Он работает в стандартном для технологии Bluetooth частотном диапазоне 2.4 – 2.483 ГГц, используя при этом другой метод перестройки рабочей частоты – FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum, псевдослучайная скачкообразная перестройка рабочей частоты) [3]. Алгоритм FHSS заключается в частой смене несущей частоты, изменение которой соответствует псевдослучайной последовательности чисел, известной отправителю и получателю. Используется такой метод для увеличения помехозащищенности канала связи.

По стандарту Bluetooth рабочая частота скачкообразно меняется 1600 раз в 1 секунду по 79 каналам шириной 1 МГц. В BLE 40 каналов с шириной 2 МГц, это повышает помехоустойчивость передачи на дальние расстояния.

Также существует разница в скорости передачи данных: Bluetooth – 1–3 Мбит/с, у BLE – 1 Мбит/с с пропускной способностью 260 Кбит/с.

В Bluetooth Low Energy используется GFSK-модуляция (Gaussian Frequency Shift Keying, гауссовская частотная модуляция): сигнал сначала проходит фильтр Гаусса для уменьшения ширины спектра сигнала, а затем поступает на частотный модулятор [4]. Максимальная дальность связи таких датчиков – 50 м при задержке в 6 мс, используется алгоритм шифрования AES-128.

Протокол Bluetooth поддерживает соединения типа точка-точка, точка-многоточка. Использующие один канал устройства образуют пикосеть, в которой одно устройство играет роль основного, а остальные – подчиненные. В одной пикосети может быть до семи активных устройств в роли подчиненных, остальные подчиненные находятся в стадии «сна», оставаясь

на связи с основным устройством. Одно подчинённое устройство может входить в разные пикосети. Таким образом, взаимодействуя между собой, пикосети образуют «распределительную сеть». Формирование пикосетей помогает объединить множество маячков навигации в единую сеть как с простой, так и сложной иерархией.

Технология Bluetooth стала популярной благодаря недорогой программно-аппаратной реализации – в структуру первых чипсетов входили радиомодуль-трансивер, контроллер связи и устройство управления [5]. Трансивер и контроллер были специализированными микросхемами, а устройство управления могло быть стандартным микроконтроллером. В пользу быстрого распространения технологии Bluetooth также сыграл диапазон в 2 МГц, освоенный достаточно хорошо. Одни из первых Bluetooth технологию освоили в Philips Semiconductors. Со временем развитие технологий привело к тому, что количество фирм, выпускающих Bluetooth устройства, а впоследствии и маячки Bluetooth Low Energy, только увеличивалось [6].

Примерами фирм, производящих BLE маячки, являются VKON, Kontakt, MPact, Estimote, Gimbal, Bluescats и другие. Маячки этих фирм имеют различные особенности и недостатки, например, маячки фирмы VKON снабжены двумя батарейками AAA, срок их автономной работы более 2 лет. Маячок польской фирмы Estimote обладает стильным дизайном и неразборным корпусом, что позволяет использовать его как в помещении, так и на улице, но если батарея разрядилась, необходимо покупать новый маячок [7].



Рис. 1. Маяк Estimote Proximity Beacon 2018

4. Структура данных Bluetooth

Данные, которые содержатся в маяках BLE, представляют собой универсальный уникальный идентификатор (Universally Unique Identifier, UUID). Именно эти данные маяк передает с заданным периодом.

UUID состоит из 5 частей.

Преамбула (4 байта) – префикс пакета, для Beacon-маячка это 4c000215.

Proximity UUID (16 байт) – идентификатор группы маячков, то есть датчики одной группы имеют одинаковое значение Proximity UUID.

Мажор (2 байта) различает малые наборы маячков внутри одной группы, большая группа имеет единый Proximity UUID, а группы внутри нее можно разделить мажорами. Пример: в здании с несколькими этажами все маяки – это большая группа, а определение этажа задает мажорный номер.

Минор (2 байта) идентифицирует маяк в мажорной группе.

По трём основным параметрам – Proximity UUID, мажору и минору – можно идентифицировать определенный маяк.

TX power (2 байта)– значение мощности маяка, уровень мощности маяка на расстоянии в 1 м. Данный параметр вписывается производителем.

5. Навигация посредством BLE

Чтобы осуществить внутреннюю навигацию с помощью маяков Bluetooth, необходимо создать сеть таких маяков, координаты расположения которых известны. Каждый маяк проводит рассылку своего UUID с заданным периодом, в котором содержатся данные о конкретном маяке. Устройство пользователя получает эти данные.

Полученная информация сравнивается с базой данных всех маяков, также измеряется уровень мощности, после чего можно с легкостью определить местоположения устройств относительно маяков BLE. Количество и общее положение маяков относительно друг друга прямо влияют на качество определения местоположения устройства – так, увлечение первого и уменьшение второго приводит к лучшему результату.

Но большое количество маяков в одном помещении будет создавать помехи среди самих передатчиков, не говоря уже об отражении сигнала от различных поверхностей и поглощении. Для того чтобы избавиться от этих факторов, используют усреднение RSSI (Received Signal Strength Indicator, индикатор силы принимаемого сигнала). Для обеспечения качественного приема необходимо, чтобы приемник выбрал три маячка с лучшими средними показателями RSSI и определил местоположение методом трилатерации [8].

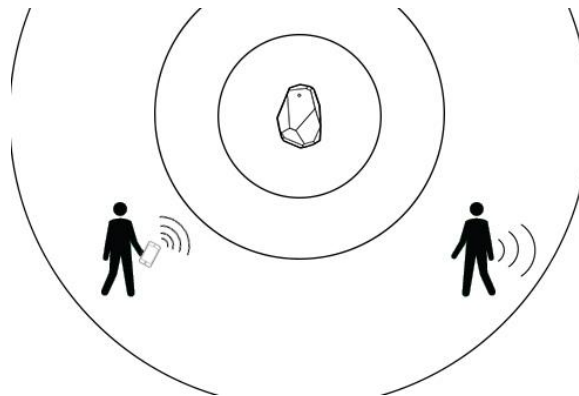


Рис. 2. Датчик и устройства пользователей

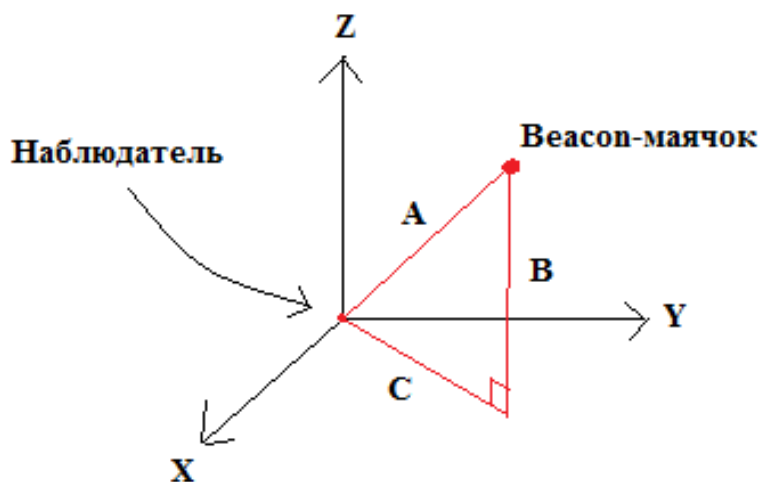


Рис. 3. Определение координат методом трилатерации

На рис. 3 А – это расстояние, определенное с помощью RSSI; В – высота расположения маяка в двумерной плоскости, в которой находится устройство пользователя; С – расстояние до маячка в этой плоскости, которое требуется найти.

Для дальнейшего улучшения точности определения координат пользователя применяют фильтр Калмана, который использует динамическую модель системы, а именно, закон движения и две циклически повторяющиеся стадии предсказания и корректировки. На этапе предсказания производится расчет состояния системы в следующий момент времени, этап корректировки корректирует прогноз по данным очередного измерения. Фильтр Калмана имеет возможность учитывать управляющее воздействие со вспомогательных систем, встроенных в устройство пользователя, таких как акселерометр, гироскоп. Акселерометр в качестве управляющего воздействия будет показывать проекции действующих сил, гироскоп показывает проекции угловых скоростей. Использование данных со вспомогательных устройств дает возможность уменьшения погрешности позиционирования [9].

6. Применение

Применение точного позиционирования внутри помещений может быть разным:

- навигация в незнакомых помещениях (поиск кафе, магазинов, определенных товаров в торговых центрах, мест на больших стадионах, аудитории в институтах и т.д.);
- рекламная функция (уведомления о товарах и услугах прямо рядом с вами);
- развлекательная функция (игры типа квест различной тематики с использованием местоположения игрока);
- поисково-спасательная функция (помощь в обнаружении аварийных выходов, поиск местонахождения пользователя по сигналу его устройства).

7. Применение в центральном здании ИрНТУ

Целью настоящей работы является изучение возможности применения технологии BLE для организации навигационной сети в центральном здании Иркутского национального исследовательского технического университета. Необходимость в создании такой сети возникла по той простой причине, что центр здания ИрНТУ представляет собой 7 объединённых в одну систему 4-этажных корпусов, в которых одновременно может находиться в среднем 6–8 тыс. студентов.

В ходе эксперимента были произведены измерения уровня сигнала на различных расстояниях приемник – передатчик в корпусе университета. Целью измерения было выявление оптимальных параметров приема сигнала при изменении расстояния приемник – передатчик и с учетом внешних помех.

В качестве приемника использовался смартфон Asus ZenPhone Max 3 с установленной программой Bluetooth Signals, а передатчика – фитнес-браслет Mi Band 3, использующий BLE-технологии (спецификация Bluetooth 4.2).

Измерения проводились в два этапа в коридоре одного из корпусов ИрНТУ. Фитнес-браслет может работать в двух режимах: «поиск устройства» и «установленное соединение».

На первом этапе BLE-устройство находилось в режиме «поиск устройства». Вход в этот режим осуществляется с помощью отключения сопряженного с фитнес-браслетом устройства, происходит измерение уровня сигнала при изменении расстояния между приемником и передатчиком. В таком режиме можно отследить, что передатчик имеет «видимый», но на определенном расстоянии не достаточный для передачи полезной информации уровень сигнала.

На втором этапе происходит измерение расстояния, на котором сохраняется подключение передатчика и сопряженного с ним устройства, при котором два этих устройства имеют стабильное подключение и уровень сигнала для передачи полезной информации.

Структурная схема метода измерения представлена на рис. 4, результаты измерений приведены в табл. 1.

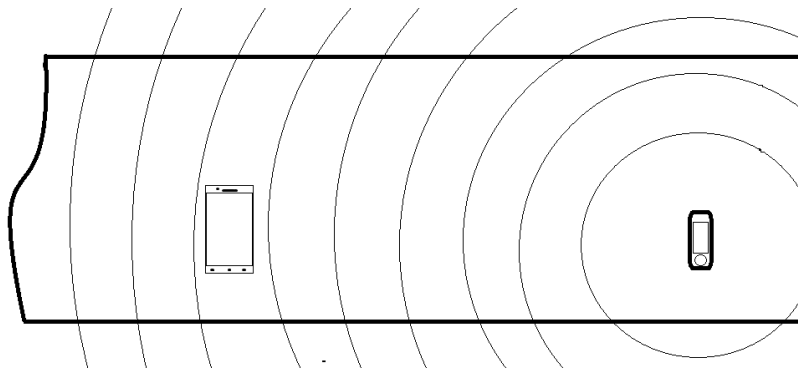


Рис. 4. Структурная схема метода измерения

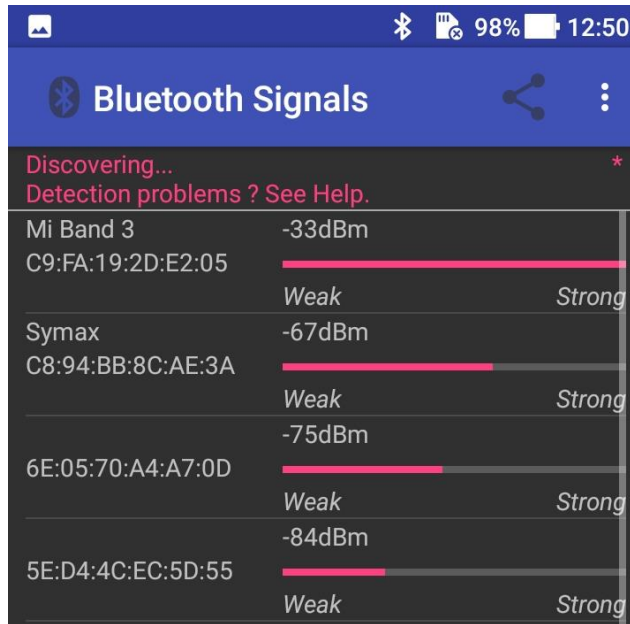


Рис. 5. Скриншот интерфейса программы Bluetooth Signals

Таблица 1. Измерение уровня сигнала

Расстояние	Уровень сигнала	Режим
0 м	- 30 dBm	«поиск устройства»
	- 32 dBm	«установленное соединение»
1 м	- 58 dBm	«поиск устройства»
	- 61 dBm	«установленное соединение»
5 м	- 77 dBm	«поиск устройства»
	- 76 dBm	«установленное соединение»
10 м	- 74 dBm	«поиск устройства»
	- 78 dBm	«установленное соединение»
20 м	- 69 dBm	«поиск устройства»
	- 77 dBm	«установленное соединение»
30 м	- 76 dBm	«поиск устройства»
	- 85 dBm	«установленное соединение»
40 м	- 74 dBm	«поиск устройства»
	- 84 dBm	«установленное соединение»
50 м	- 78 dBm	«поиск устройства»
	- 91 dBm	«установленное соединение»

Результатом эксперимента стало выявление расстояния, на котором BLE-устройство имеет стабильное подключение к устройству пользователя и может передавать информацию непосредственно в здании ИрНИТУ. Сигнал остается стабильным на расстоянии, соответствующем оптимальному приему сигнала. Это позволяет сделать выводы о целесообразности применения BLE-устройств со спецификацией Bluetooth 4.2 для организации системы навигации в учебном учреждении, в частности, в ИрНИТУ.

Практическое применение системы Indoor-навигации – усовершенствование при интеграции с официальным приложением ИрНИТУ, что может помочь студентам и сотрудникам в поиске аудитории, даст возможность получения мгновенной информации – от изменения аудитории, в которой будет идти занятие, до информации о пожарной эвакуации. Приложением с навигацией могут пользоваться абитуриенты и гости университета, чтобы, например, не заблудиться или получать дополнительную информацию во время экскурсии. Технология IPS также может найти свое применение в игровых и культурно-массовых мероприятиях университета.

8. Заключение

Разработка и реализация системы внутренней навигации посредством маяков Bluetooth для здания ИрНИТУ даст возможность, во-первых, создать рабочую систему навигации, во-вторых использовать модель, адаптированную к условиям ИрНИТУ, в учебном процессе для студентов, изучающих инфокоммуникационные технологии. При разработке и обслуживании системы студенты смогут получать практические и теоретические знания в области беспроводной передачи данных.

Литература

1. *Хилажев Р. О. Просвирякова Л. В. Indoor – технология навигации внутри помещения // Материалы XV ВНТК студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Современные проблемы радиоэлектроники», Иркутск, 2018. С. 206–208.*
2. IndoorAtlas [Электронный ресурс]. URL: <https://www.indooratlas.com> (дата обращения: 04.03.2019).
3. *Крухмалев В. И. Гордиенко В. Н. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 511 с.*
4. *Вишневский В. М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005. 595 с.*
5. Indoor навигация с iBeacon в iOS 7 [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/touchinstinct/blog/195104/> (дата обращения: 19.02.2019).
6. *Шувалов В. П., Катунин Г. П., Мамчев Г. В., Попантонопуло В. Н. Телекоммуникационные системы и сети. Радиосвязь, Радиовещание, Телевидение. Том 2. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 338 с.*
7. Estimote, Inc. [Электронный ресурс]. URL: <https://estimote.com/> (дата обращения: 02.03.2019).
8. Как работают маяки: Физика технологии iBeacon [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/navigine/blog/269735/> (дата обращения: 19.02.2019)
9. Навигация в помещениях с iBeacon и ИНС [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/245325/> (дата обращения: 19.02.2019).

*Статья поступила в редакцию 14.05.2019;
переработанный вариант – 21.10.2019.*

Хилажев Руслан Олегович

студент 3 курса ИрННТУ, e-mail: hilazhevruslan@yandex.ru.

Просвирякова Лариса Владимировна

ст. преподаватель кафедры радиоэлектроники и телекоммуникационных систем ИрННТУ (664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83), e-mail: lar_prosv@mail.ru.

IPS technology based on Bluetooth Low Energy

R. Khilazhev, L. Prosviryakova

The article is devoted to the research of IPS technology based on Bluetooth Low Energy (Smart) sensors and its analogues for its subsequent technical implementation by example of the IrNRTU building.

Keywords: navigation, Bluetooth, beacon, satellite, location, Indoor Atlas, iBeacon.