

АСТАФЬЕВ А.В., ДЕМИДОВ А.А.,
ДЕМИДОВА У.А., МАКУЛОВ В.А.

**Анализ применимости Bluetooth
Low Energy маяков для построения
систем автономной навигации в
закрытых помещениях**

УДК 004.93'11

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

В статье проведен анализ технологий WBAN, который показал сравнительное превосходство в пользу BLE-маяков. Построение лабораторного стенда основывалось на анализе устройств BLE-маяков. Были проведены измерения в закрытом помещении с использованием BLE-маяков спецификаций Bluetooth 4.0 и 5.0. В результате проведенных экспериментов было выяснено, что BLE на версии Bluetooth 4.0 менее эффективна по сравнению с версией Bluetooth 5.0. Проведенные экспериментальные исследования показали возможность применения BLE-маяков для построения систем автономной навигации в закрытых помещениях.

Ключевые слова: Bluetooth Low Energy, позиционирование, навигация, WBAN, аппроксимация, RSSI, трилатерация, Bluetooth 5.0.

Введение

Во время информационных технологий быстрый спрос и актуальность обретает беспроводная нательная компьютерная сеть (WBAN), которая в свою очередь помогает обеспечивать поддержку информационных систем, предназначенных для “Internet of Things” (IoT) [1]. Беспроводные линии связи являются наиболее эффективным способом обеспечения соединения устройств WBAN между собою.

Для персонализированных систем, с точки зрения позиционирования и indoor-навигации [2], разработчики обратили внимание на один из стандартов WBAN - Bluetooth Low Energy (BLE). Не смотря на большую конкуренцию BLE продемонстрировал значительную устойчивость и постоянное улучшение. Bluetooth 4.0 используется на практике с июня 2010 года. Сейчас можно заметить, что каждый смартфон, планшет, ноутбук и смарт-часы оснащены большим набором различных беспроводных датчиков, в том числе и Bluetooth не ниже версии 4.0.

Информационные технологии не стоят на месте, поэтому с 2017 года большинство смартфонов, ноутбуков и планшетов стали оснащаться новой версией Bluetooth 5.0. По сравнению со своей прошлой версией Bluetooth 5.0 увеличил вдвое скорость передачи данных, а радиус действия - в четыре раза. Так же были увеличены размеры фрагментов передаваемой информации, которые устройства смогут отправлять по каналу беспроводной натальной компьютерной сети WBAN.

В связи с развитием IoT и появлением принципиально новых технологий передачи информации возникла возможность решения классических задач с их применением. К этим задачам можно отнести:

- 1) средства идентификации [3-5];
- 2) средства позиционирования [6,7];
- 3) средства навигации;
- 4) средства передачи данных;
- 5) средства обработки и анализа данных [8].

Сравнительный анализ технологий передачи информации в WBAN

WBAN – набор из несколько устройств, которые находятся рядом или взаимодействуют непосредственно с человеческим телом, которые могут передавать и фиксировать различную информацию [9]. Подобные системы решают задачи с позиционированием и навигацией в закрытом помещении или отслеживание носителя маяка в режиме реального времени вне зависимости от его местоположения.

Наиболее широко используемые технологии, позволяющие реализовывать подобного рода системы - Bluetooth, BLE, ZigBee,

Thread и Wifi. В таблице 1 приведены результаты сравнительного анализа технологий передачи информации в WBAN по которым можно строить позиционирование и навигацию в закрытом помещении.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа технологий передачи информации в WBAN

| Технология | Bluetooth | ZigBee | BLE |
|------------------------|------------------------------------|--|--|
| Среда применения | Компьютерные и цифровые устройства | Умный дом, автоматизация промышленных зданий | Позиционирование и навигация, устройства автоматизации и мониторинга |
| Частота | 2.4 - 2.48GHz | 2.4-2.48GHZ | 2.4GHz |
| Дальность действия | 100 метров | 100 метров | 150 метров |
| Энергопотребление | 100 mW (Высокое) | 30 mW (Среднее) | Менее 10 mW (Низкое) |
| Интерференция | Отсутствует | Отсутствует | Отсутствует |
| Режим маяка | Присутствует | Отсутствует | Присутствует |
| Пропускная способность | 250 кбит/с | 250 кбит/с | 1 Мбит/с |

В связи с появлением версии Bluetooth 5.0, BLE стал конкурентоспособен, так как благодаря увеличению скорости передачи данных в новой версии автоматически увеличивается скорость синхронизации IoT-устройств друг с другом и с базой (Например, умных часов со смартфонами).

Исходя из проведенного сравнительного анализа технологий передачи информации в WBAN, можно предположить, что стандарт построения сети на основе BLE является более подходящим для решения актуальных задач, связанных с indoor-навигацией.

Сравнительный анализ устройств на основе BLE

Для построения экспериментального стенда и выбора наиболее подходящего оборудования был проведен сравнительный анализ устройств на основе BLE. Для проведения сравнительного анализа были выбраны следующие BLE-маяки:

- маяк nRF51822;
- маяк FSC-BP104;
- маяк MY BEACON 2016.

Сравнение устройств производилось по следующим критериям:

- 1) версия спецификации Bluetooth;
- 2) дальность действия;
- 3) время работы.

В таблице 2 приведены результаты сравнительного анализа устройств на основе BLE.

Таблица 2

Сравнение устройств BLE

| | nRF51822 | FSC-BP104 | MY BEACON 2016 |
|------------------------|---|--|---|
| Вид |  |  |  |
| Дальность действия | 5 метров | 50 метров | 15 метров |
| Питание | CR2450 | AAA(LR03) | CR2016 |
| Bluetooth | Bluetooth 4.0 | Bluetooth 5.0 | Bluetooth 4.0 |
| Время работы | 1 год | 2 года | 6 месяцев |
| Интерференция и помехи | Присутствуют | Отсутствуют | Отсутствуют |
| Цена | 315 рублей | 378 рублей | 1 200 рублей |

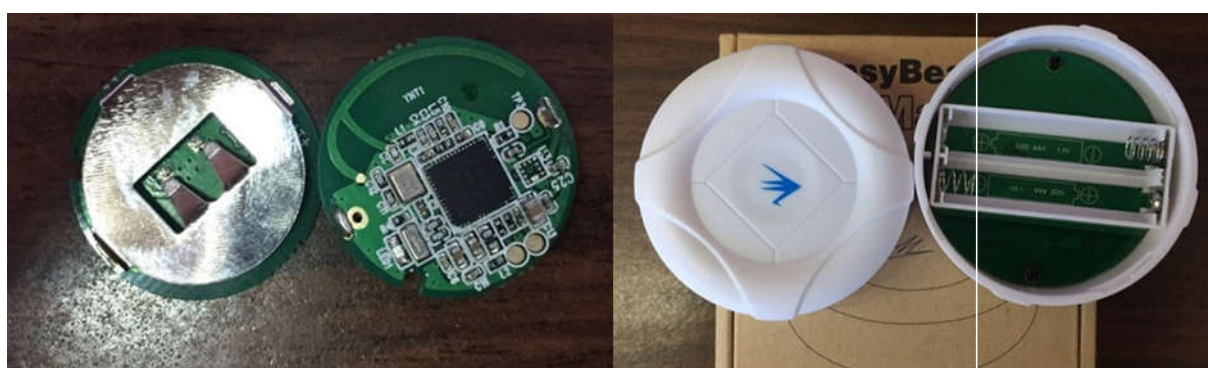
Построение экспериментального стенда

Для проведения экспериментов был разработан лабораторный стенд, представляющий размеченную область (рисунок 1А) для проведения замеров уровня сигнала, включающий в себя:

1. метки nRF51822 на Bluetooth версии 4.0 – 3 ед. (рисунок 1Б);
2. метки FSC-BP104 на Bluetooth версии 5.0 – 15 ед. (рисунок 1В);
3. смартфон на ОС Android с Bluetooth версией 4.2 – 1 ед.;
4. управляемая машина на Arduino Uno R3 – 1 ед.;
5. программа для обнаружения BLE;
6. ноутбук Vaio – 1 ед.



А



Б

В

Рис. 1. Лабораторный стенд

Измерения в закрытом помещении

Первое измерение проводилось в здании института МИ ВлГУ на третьем этаже главного корпуса (рисунок 2). Испытания проводились с использованием меток nRF51822 на Bluetooth версии 4.0 и FSC-BP104 на Bluetooth версии 5.0. При измерениях был установлен шаг 0,5 м и время измерения шага 10 минут, после сбора данных об уровне сигнала при каждом считывании, было произведено усреднение значений каждого шага и на основе полученных данных построен график аппроксимации линейной функцией (Рисунок 3, 4, 5).



Рис. 2. 3D-модель контролируемого помещения

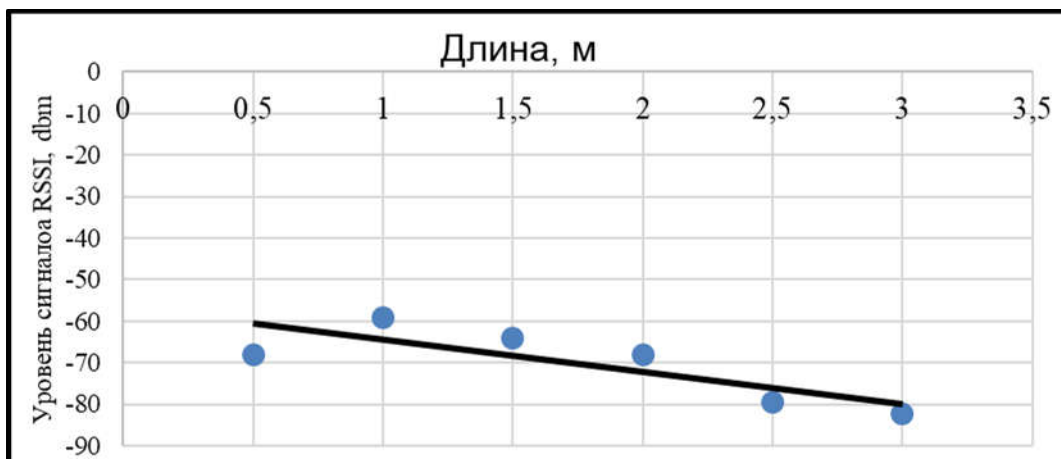


Рис. 3. Усреднение значений метки nRF51822

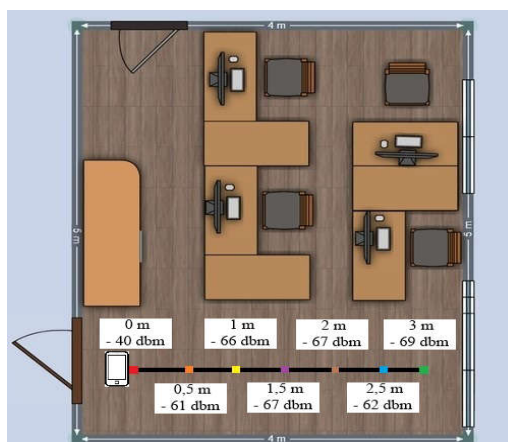


Рис. 4. 2D схема контролируемого помещения

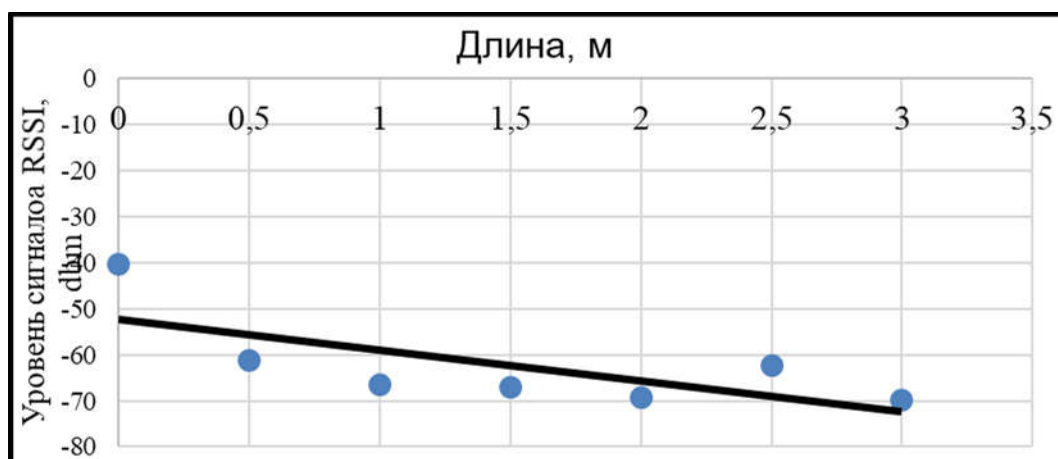


Рис. 5. Усреднение значений метки FSC-BP104

Второе измерение проводилось в здании института МИ ВлГУ в коридоре главного корпуса (рисунок 6). Испытание проводилось с использованием метки FSC-BP104 на Bluetooth версии 5.0. Метка nRF51822 на Bluetooth версии 4.0 не используется в данном измерении, так как её дальность радио отклика 5 метров. При измерениях был установлен шаг 5м и время измерение шага 10 минут, после сбора данных об уровне сигнала при каждом считывании, производилось усреднение значений каждого шага и на основе полученных данных построен график аппроксимации линейной функцией (рисунок 7, 8).



Рис. 6. 3D-модель контролируемого помещения

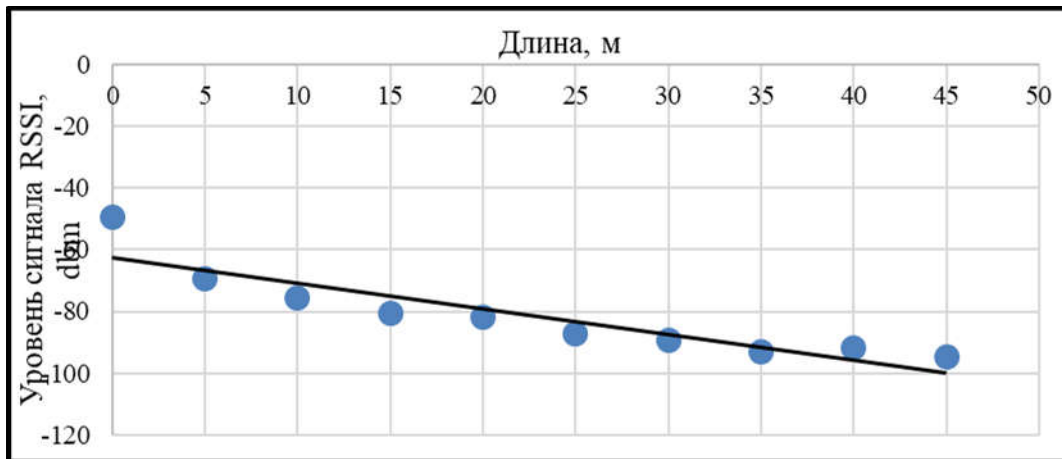


Рис. 7. Усреднение значений

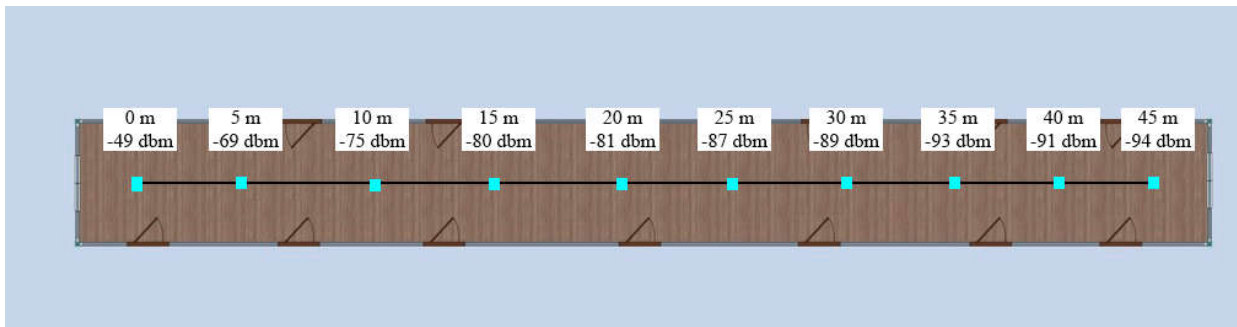


Рис. 8. 2D схема контролируемого помещения

В результате проведённых экспериментов было выяснено, что BLE на версии Bluetooth 4.0 менее эффективна по сравнению с версией Bluetooth 5.0. При одинаково заданных настройках и местности проведения экспериментов результат метки FSC-BP104 показал значительное превосходство в дальности и точности измерений. В связи с техническими параметрами и экономическими соображениями в дальнейших экспериментах основой для испытаний будет использоваться метка FSC-BP104.

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность применения BLE-маяков для построения систем автономной навигации в закрытых помещениях.

В данной статье описаны экспериментальные результаты измерений уровня сигнала RSSI на основе BLE-меток версии Bluetooth 4.0 и 5.0. Испытания показали, что существует

возможность использования BLE меток для решения задач связанных с:

- идентификацией;
- передачей данных;
- позиционированием;
- навигацией;
- обработкой и анализом данных.

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность применения BLE-маяков для построения систем автономной навигации в закрытых помещениях. Полученный результат в ходе проведения испытаний показал, что BLE на версии Bluetooth 5.0 является более эффективной технологией, которая может использоваться в качестве канала WBAN.

В дальнейшем планируется провести испытания в следующих условиях:

- изменение настроек уровня сигнала меток - TxPower (положительную и отрицательную сторону);
- измерение уровня сигнала RSSI через стены и этажи, а также на открытом пространстве;
- использование мобильного устройства с версией Bluetooth 5.0;
- провести построение метода трилатерации для построения системы позиционирования.

Литература

1. Internet of Things in 2020 roadmap to future [on-line] https://mafiadoc.com/internet-of-things-in-2020-roadmap-for-the-future-eposs_5a17c5b41723ddb59566366a.html
2. Xu, R.; Chen, W.; Xu, Y.; Ji, S. A New Indoor Positioning System Architecture Using GPS Signals. *Sensors* 2015, 15, 10074-10087
3. Y.Y. Kulkov, A. L. Zhiznyakov, D. G. Privezentsev, Algorithm for recognition of details in the machine vision systems at automation of assembly processes, *MATEC Web of Conferences* 224 (2018) 01088, doi: 10.1051/mateconf/201822401088
4. A.A. Zakharov, A.E. Barinov, A.L. Zhiznyakov, V.S. Titov, Object detection in images with a structural descriptor based on graphs, *Computer Optics* 42(2) (2018) 283-290, doi: 10.18287/2412-6179-2018-42-2-283-290
5. Orlov A. A., Provotorov A. V., Astafiev A. V., *Methods and algorithms of automated two-stage visual recognition of metal-rolling billets*, Automation and Remote Control, US, Pleiades Publishing Ltd, 2016
6. Astafiev A.V. Development of Indoor Positioning Algorithm Based on Bluetooth Low Energy beacons for Building RTLS-Systems, 2019 International

Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019, №8867751. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867751

7. Астафьев А.В. Разработка алгоритма позиционирования мобильного устройства на основе сенсорных сетей из BLE-маяков для построения систем автономной навигации / А.В. Астафьев, А.А. Демидов, М.В. Макаров, Д.Г. Привезенцев // Всероссийская конференция ММРО-2019. Россия, г. Москва, 26-29 ноября 2019 г. с.334-335

8. J. Barata, P. Rupino da Cunha, A. Subhashchandra Gonnagar, M. Mendes, A Systematic Approach to Design Product Traceability in Industry 4.0: Insights from the Ceramic Industry, Information Systems Development: Advances in Methods, Tools and Management, Proceedings of ISD 2017 (2017) Information on <http://aisel.aisnet.org/isd2014/proceedings2017/ISDMethodologies/2>

9. Del Re, E., Morosi, S., Mucchi, L. et al. Wireless Pers Commun (2016) 88: 39. <https://doi.org/10.1007/s11277-016-3240-x>

Рецензент: Привезенцев Денис Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры «Программная инженерия» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».