



Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Владимирский государственный университет имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

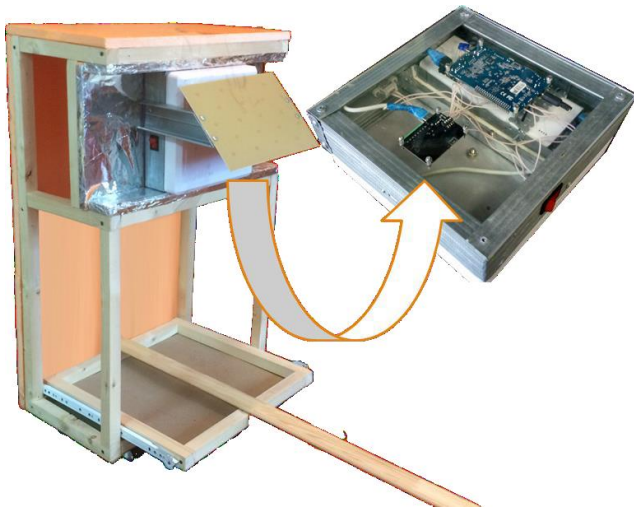
Разработка алгоритма позиционирования мобильного устройства на основе сенсорных сетей из BLE-маяков для построения систем автономной навигации

Авторы: Астафьев А.В., Жизняков А.Л.,
Привезенцев Д.Г. Демидов А.А.

Задача прослеживания труб

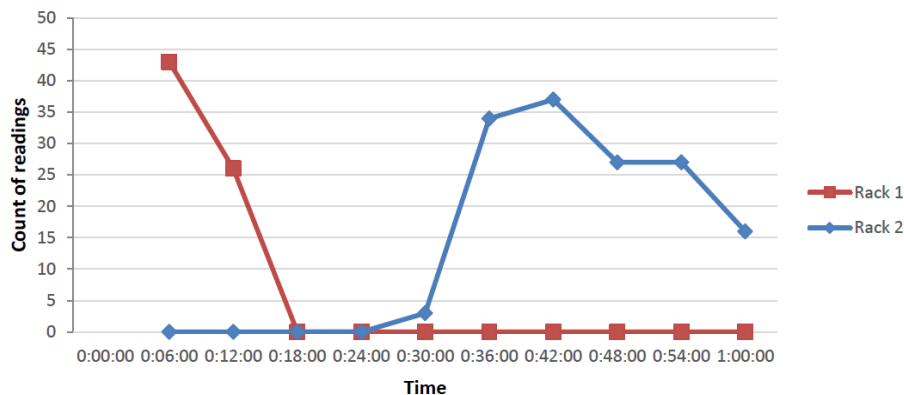


Источник задачи: Проект по разработке системы автоматического распознавания труб и отслеживания их перемещения по территории предприятия (с 2015 по настоящее время).

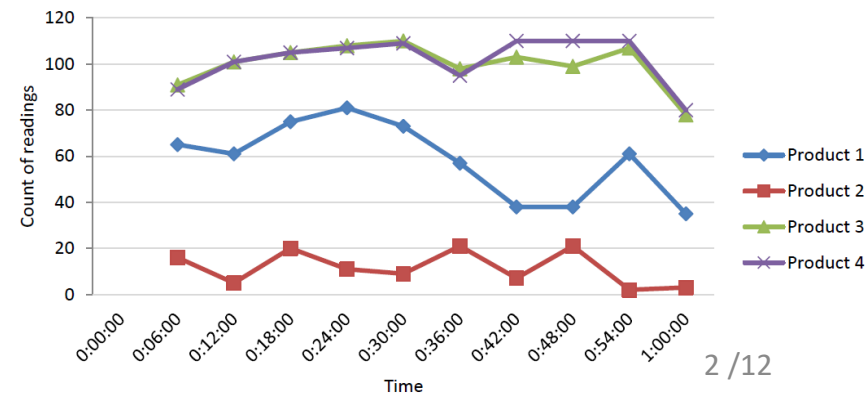


Статистика идентификации

Зон хранения



Изделий



Анализ технологий позиционирования

Для проведения сравнительного анализа были выбраны следующие технологии: Wi-Fi, ZigBee, Threed, Bluetooth Low Energy (BLE).

	ZigBee	Threed	Bluetooth Low Energy	Wi-Fi
Диапазон	2,4 GHz			
Дальность действия	От 10 до 75 метров	До 50 метров	До 150 метров	До 30 метров
Элемент питания	Батарейка (например, CR2032)			Сеть 220В
Потребление электроэнергии	Низкое	Низкое	Пониженное	Высокое
Средняя цена	600 рублей	550 рублей	300 рублей	1500 рублей
Доступность	Требуют специализированного оборудования		Совместимы с любыми смартфонами и компьютерами	

В ходе проведения сравнительного анализа был сделан вывод, что основным претендентом на роль технологии позиционирования в режиме реального времени является технология Bluetooth Low Energy.

Обзор аппаратного обеспечения

	nRF51822	FSC-BP104	MyBeacon2016
Внешний вид			
Спецификация Bluetooth	4.2	5.0	4.2
Поддержка форматов	iBeacon	iBeacon, AltBeacon, EddyStone	iBeacon
Дальность действия	До 15 метров	До 100 метров	До 15 метров
Возможность изменения физических параметров	-	+	-
Стоимость	350 рублей	400 рублей	1200 рублей

В распоряжении у коллектива имеется 3 маяка на базе чипа nRF51822 и 15 маяков FSC-BP104.

Формат iBeacon

Byte number	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9-24	25	26	27	28	29
Default value	0x02	0x01	0x06	0x1a	0xff	0x4c00	0x02		0x15						
Note	Length	Type	Value	Length	Type	Manufacturer ID	SubType	SubType Length	SubType	Proximity UUID	Major		Minor	Power	Signal

Уникальный идентификатор маяка

Классификатор 1

Классификатор 2

FDA50693-A4E2-4FB1-AFCF-C6EB07640004

1

2

Beacon



(N/A)

iBeacon

UUID: FDA50693-A4E2-4FB1-AFCF-C6EB07640004

RSSI: -72

Major: 1 Minor: 2

Описание эксперимента



Лабораторный стенд

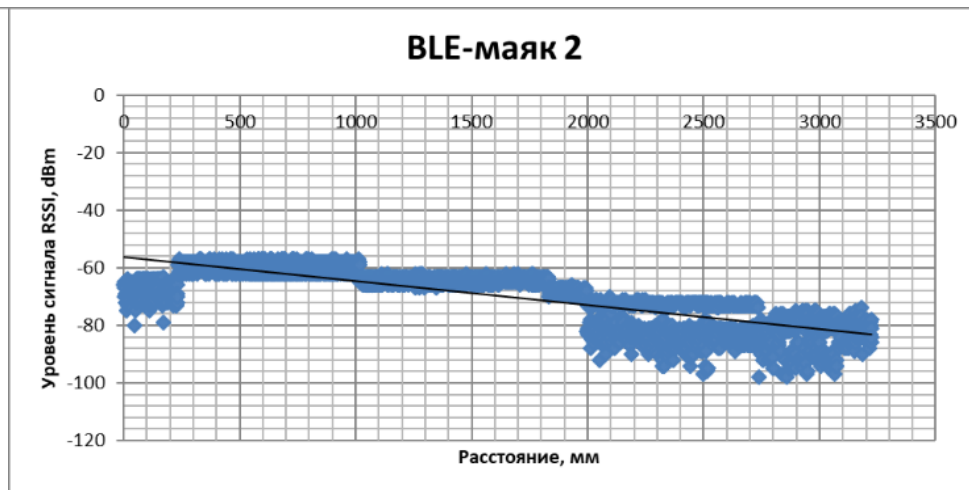
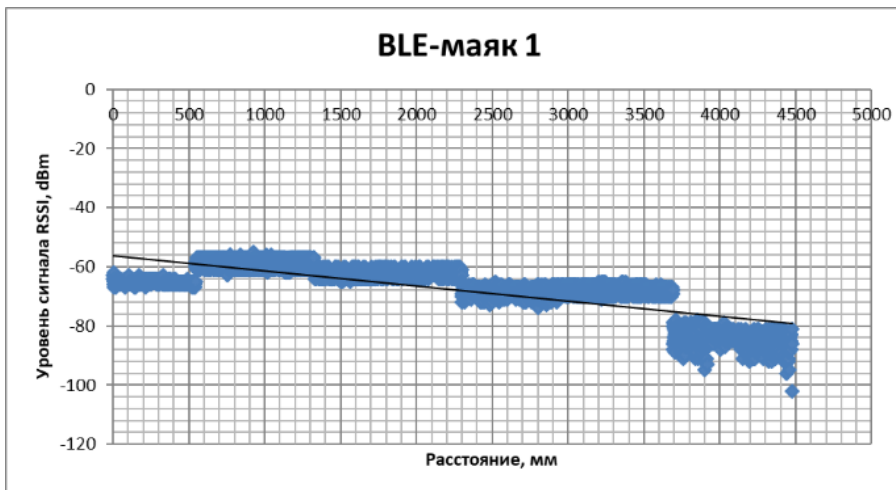
Для построения подсистемы определения расстояния до маяка были использованы методы Received Signal Strength Indicator (RSSI) и аппроксимации.

 Bluetooth

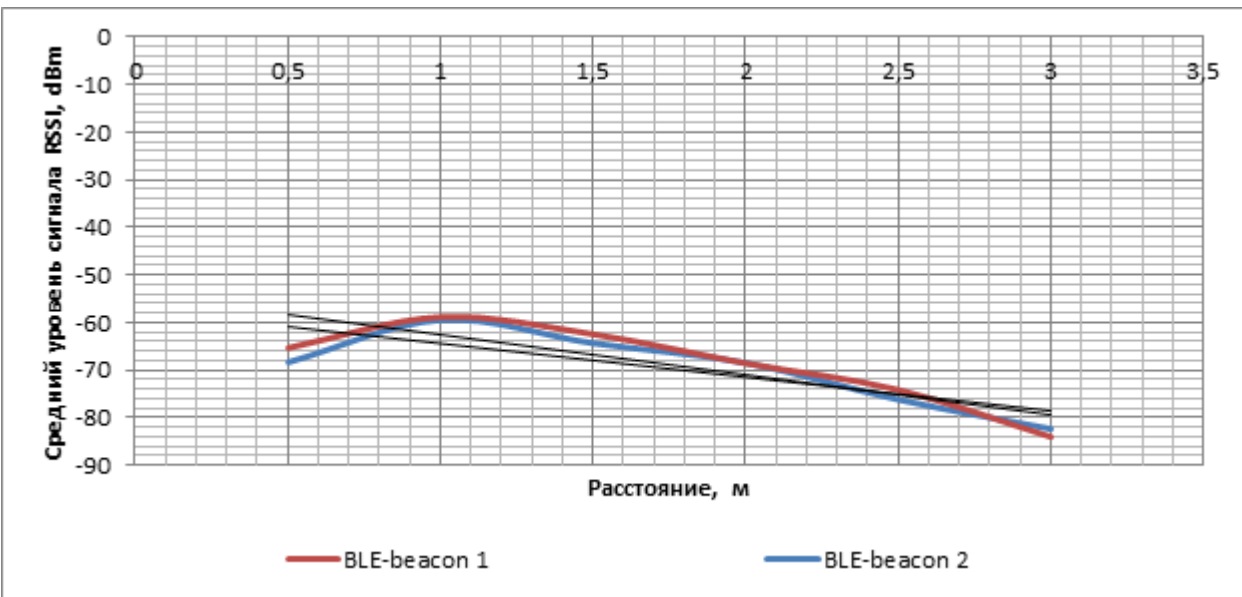


В настоящее время приобретена машинка на базе Arduino Uno для автоматизации процесса произведения замеров

Экспериментальные исследования nRF51822



Результаты измерения уровня сигнала от маяков nRF51822



Уравнения линейной аппроксимации:

BLE-маяк 1:

$$y = -0,0916 * x - 4,631$$

BLE-маяк 2:

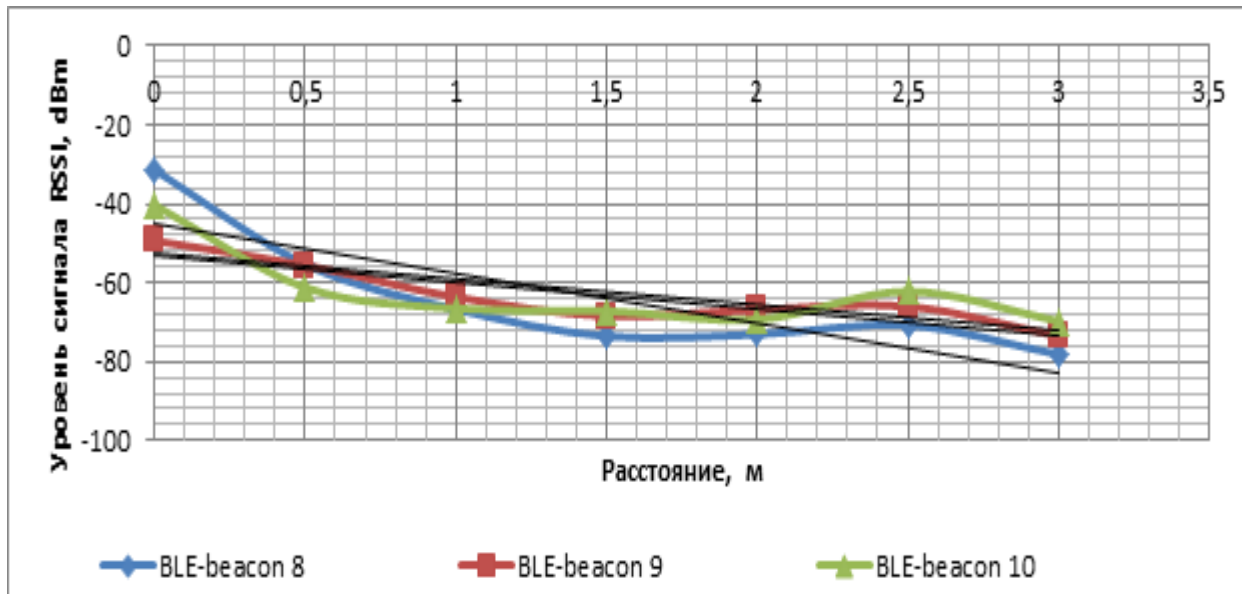
$$y = -0,088 * x - 4,3019$$

Усредненные результаты замеров BLE-маяков nRF51822

Экспериментальные исследования FSC-BP104

Усредненные результаты замеров BLE-маяков FSC-BP104

	RSSI, dBm						
Расстояние, м	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
BLE-beacon 8	-31,3892	-55,3451	-66,7112	-73,5386	-73,0742	-70,7446	-78,1145
BLE-beacon 9	-49,4018	-55,5359	-63,593	-68,4322	-66,7997	-65,9611	-73,4953
BLE-beacon 10	-40,2939	-61,1955	-66,5035	-67,1423	-69,3268	-62,178	-69,7459



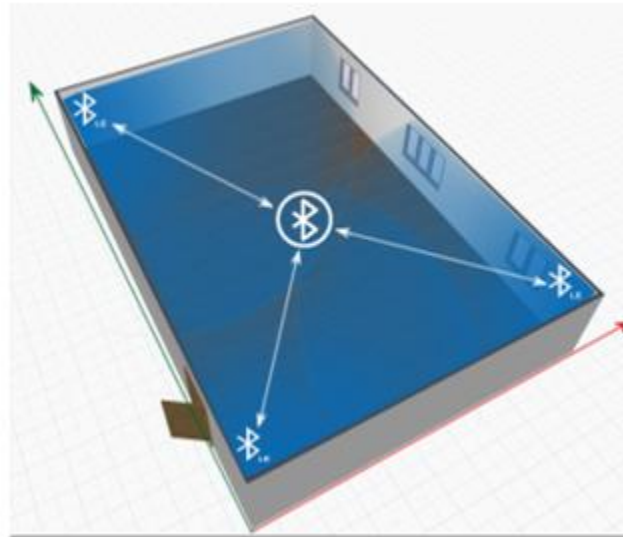
Уравнения линейной аппроксимации:

Метка BLE-beacon 8:
 $y = -0,0567 * x - 2,1367$

Метка BLE-beacon 9:
 $y = -0,1195 * x - 6,0654$

Метка BLE-beacon 10:
 $y = -0,0738 * x - 3,0981$

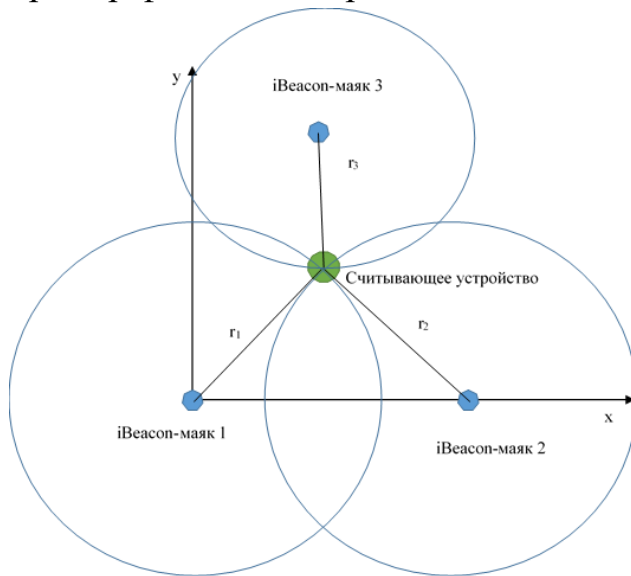
Разработка алгоритма позиционирования мобильного устройства



Для организации позиционирования по трем BLE iBeacon-маякам необходимо:

1. Получить список BLE-устройств в зоне видимости считывающего устройства.
2. Отобрать устройства, работающие по технологии iBeacon, согласно формата данных, представленного в таблице 1.
3. Получить данные о состоянии iBeacon-маяков.
4. Отсортировать iBeacon-маяки по уменьшению дистанции до них.
5. Построить координатную плоскость (Рисунок 2) исходя из того, что:
 1. iBeacon-маяк, расстояние до которого является минимальным должен являться началом координат;
 2. следующий за ним по удаленности от считывающего устройства iBeacon-маяк должен располагаться на оси OX;
 3. третий по удаленности iBeacon-маяк должен быть расположен в одной плоскости с первыми двумя.
6. Исходя из известных заранее смещений (d, i, j) и расстояний до iBeacon-маяков r_1, r_2, r_3 необходимо рассчитать координаты x, y (при $z=\text{const}$) считывающего устройства. Для этого используем систему уравнений (1).
7. Выразим из системы уравнений (1) x (2), y (3) при $z=\text{const}$:

Пример физического расположения маяков



$$\begin{cases} r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \\ r_2^2 = (x - d)^2 + y^2 + z^2 \\ r_3^2 = (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2 \end{cases} \quad (1)$$

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \quad (2)$$

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 - x^2 + (x - i)^2 + j^2}{2j} \quad (3)$$

Координатная плоскость для трилатерации

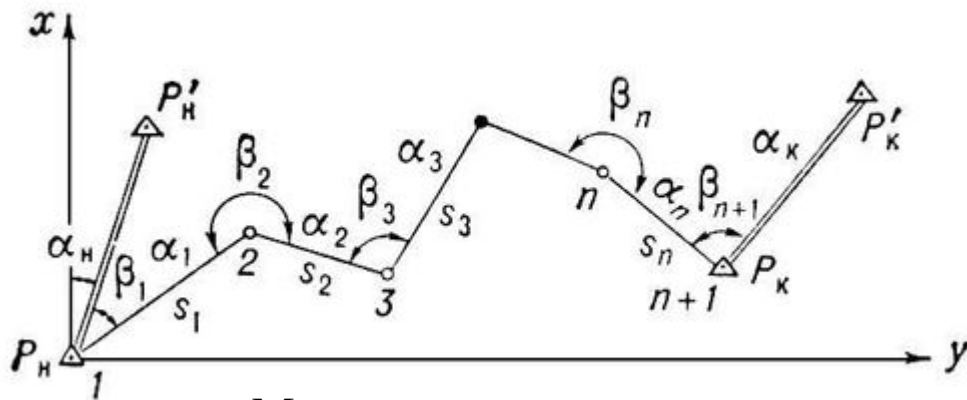
Экспериментальные исследования алгоритма позиционирования



Для апробации полученных результатов было написано мобильное приложение под ОС Android [1]. Для проведения экспериментальных исследований были использованы BLE-маяки nRF51822 (справа) и BLE-маяки FSC-BP104 (слева).

Данные, полученные в результате проведенных исследований были сравнены с показаниями мобильных приложений, специализирующихся на обработке данных с BLE-маяков: Locate, MyBeacon, Beacon Scanner. Результаты показали увеличение точности показаний разработанного приложения по сравнению с аналогами на 7-23%.

Направления дальнейших исследований

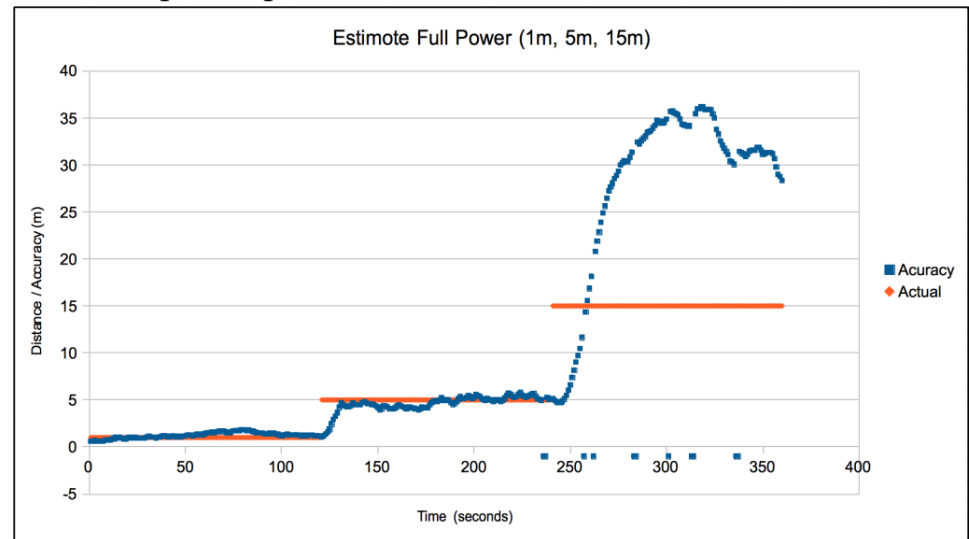


Метод полигонометрии

1. Использование метода полигонометрии для организации обратной связи для корректировки получаемых данных.
2. Исследование и использование известных методов позиционирования.
3. Применение нейронных сетей для реализации поставленных задач.

4. Согласно патенту [1] существуют ситуации, когда маяк, который находится ближе к считывающему устройству по показаниям находится дальше, чем маяк, который расположен физически ближе. Решением может быть использование рекуррентных нейронных сетей с долгой краткосрочной памятью.

5. Согласно исследованию David Vassallo маяки на основе технологии Bluetooth обладают закономерностью, что при увеличении расстояния до них, точность показаний по методу RSSI снижается. Решением может быть то, что согласно спецификации Bluetooth 5.0, в настоящее время, возможно менять мощность сигнала, для повышения достоверности показаний.



[1] US9955315B2 USA, Indoor location detection using combined radio frequency signal and audio frequency signal beacon system / Johan Svenér, Peter C. Karlsson, Magnus Persson / Sony Mobile Communications Inc, 2015-04-17

Спасибо за внимание!!!