

Engineering (ICODSE). – IEEE, 2014. – С. 1-4. – DOI 10.1109/ICODSE.2014.7062687.

3. de la Peña D. M., Gómez-Estern F., Dormido S. A new Internet tool for automatic evaluation in Control Systems and Programming // Computers & Education. – 2012. – Т. 59. – №. 2. – С. 535-550. – DOI 10.1016/J.COMPEDU.2011.12.016.

4. Шумихина М. С., Яшина И. А. СДО Moodle в обучении программированию // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – Т. 3. – №. 14. – С. 803-804. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sdo-moodle-v-obuchenii-programmirovaniyu> (дата обращения: 03.03.2022).

5. Перязева Ю. В. Возможности автоматической проверки заданий в LMS Moodle // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2019. – Т. 15. – №. 4. – С. 876-885. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-avtomaticheskoy-proverki-zadaniy-v-lms-moodle> (дата обращения: 03.03.2022).

6. Сидякин И. М. Применение системы контроля версий GitLab для обучения программированию // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2016. – №. 10. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sistemy-kontrolya-versiy-gitlab-dlya-obucheniya-programmirovaniyu> (дата обращения: 03.03.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНДАРТА BLUETOOTH 5.1 И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ BLUETOOTH-УСТРОЙСТВА В ЗАКРЫТОМ ПОМЕЩЕНИИ

*Наумова Е.А., Бессонова И.А., Якименко С.И.
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ*

Аннотация

В данной работе рассматриваются система позиционирования внутри помещения с помощью Bluetooth 5.1 и аналоги этого решения. В ходе исследования проводится тестирование комплекта оборудования и выявляются факторы, оказывающие влияние на достоверность результата. Полученные экспериментальным путем значения сравниваются с результатами программного моделирования с использованием библиотеки MATLAB.

Введение

В современном мире особо актуальной становится задача определение местоположения. Для этого были разработаны алгоритмы для точного определения координат с помощью различных технологий. Но многие системы сложно реализовать из-за высокой стоимости оборудования или низкой точности определения местоположения. Целью данной работы является исследование метода Angle of Arrival (AoA)

из новой спецификации Bluetooth 5.1, проведение эксперимента и сравнение полученных результатов с методами, используемыми для позиционирования внутри помещения.

Аналоги

Существуют различные варианты определения местоположения. Самые популярные и известные среди них — это системы, использующие GPS, Wi-Fi и Bluetooth. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки.

1. GPS

Первый из методов определения местоположения — это известная технология GPS. Однако производительность GPS невысокая из-за ослабления сигнала при прохождении через строительные материалы, такие как бетон и арматура [1].

Группа студентов провела эксперименты по получению точности определения местоположения в различных зданиях: деревянные, кирпичные и бетонные [2]. Измерения проводились в каждом здании для определения отношения сигнал/шум. Результаты показали высокий коэффициент (отношение сигнал/шум) в деревянных зданиях и очень низкий коэффициент в бетонном здании.

Точность измерения положения объекта в помещении составляла 5–20 метров, в зависимости от типа конструкции, используемой при проведении эксперимента. Эти результаты помогают понять, что технология GPS совершенно непригодна для определения местоположения как статического объекта, так и объекта в движении.

2. Wi-Fi

Следующий метод позиционирования в помещении основан на технологии Wi-Fi. Система позиционирования внутри помещений на основе Wi-Fi часто используется в офисах и больших зданиях из-за широкого охвата пространства сигналами. Более того, точки доступа Wi-Fi имеют низкую стоимость, а дальность распространения сигнала достигает 100–150 метров в радиусе.

Точность системы в некоторых экспериментальных исследованиях при использовании RSSI для измерения расстояния от точки доступа до ключевой точки составляет около 2–5 метров [3]. При использовании алгоритма Round Trip Time (RTT) для измерения точности результаты показывают, что погрешность расстояния варьируется от 3 до 5 метров [4].

Такие значения не подходят для промышленного использования из-за большой погрешности в расчетах. Однако существуют способы повысить точность полученных данных. Одним из них является фильтр Калмана, который уменьшает погрешность измерения местоположения в среднем до 1,5 метров [5].

Система Wi-Fi часто используется из-за низкой стоимости и высокой точности в большинстве случаев. Однако для некоторых задач требуется более высокая точность определения местоположения

3. Bluetooth

Один из наиболее важных и популярных методов позиционирования в помещении основан на Bluetooth. В большом здании может потребоваться

значительное количество оборудования для создания системы, поскольку сигнал Bluetooth работает в помещениях на расстоянии до 30 метров, однако мало-мощные антенны тестовых образцов ограничивают эту дистанцию до 3 метров [6].

Для определения местоположения объекта могут быть использованы различные алгоритмы. Алгоритм трилатерации использует 3 точки доступа Bluetooth для вычисления местоположения маяка с точностью 1,5–2,5 метра [7] с помощью метода RSSI и около 1,5–2 метров с помощью метода Time of Flight (TOF) [8].

Недостатками предыдущего решения являются недостаточная точность, необходимость в большом количестве оборудования и высокая стоимость системы. Следующим шагом в повышении точности позиционирования с помощью Bluetooth является использование методов угла прибытия (Angle of Arrival, AoA) и угла вылета (Angle of Departure, AoD). Система требует новый тип оборудования: антенная решетка на точке доступа для AoA и на маячке для AoD.

Точность метода AoA достигает примерно 0,3–0,7 метра в различных экспериментах в зависимости от оборудования. Результаты показывают, что система, основанная на использовании AoA, обладает наилучшей точностью по сравнению с другими методами позиционирования внутри помещений.

Проведение эксперимента

Проведение эксперимента делится на несколько частей: методология, проведение экспериментов и непосредственно обработка результатов.

1. Методология

Для проведения экспериментов в первую очередь было необходимо разработать методологию тестирования.

Поставленный эксперимент можно разделить на несколько этапов. Прежде всего было проведено тестирование комплекта оборудования и установлена точность определения местоположения для определённого набора точек в двумерном пространстве. Следующим этапом стало исследование влияния помех и высоты измерения на достоверность результатов. Далее было проведено моделирование сигнала в MATLAB и определена разница между результатами, полученными эмпирическим путем, и результатами, полученными программно.

В качестве оборудования, используемого для изучения и тестирования спецификации Bluetooth 5.1, был выбран комплект от Texas Instruments. В него входит:

1. Отладочная плата LAUNCHXL-CC2640R2 – 2 шт.;
2. Антенная решетка BOOSTXL-AOA – 1 шт.

В эксперименте предполагается, что плата отправителя сигнала (Sender) неподвижна в начале координат, а приемник (Receiver), на котором расположена антенная решетка BOOSTXL-AOA, перемещается относительно отправителя (рис. 1).

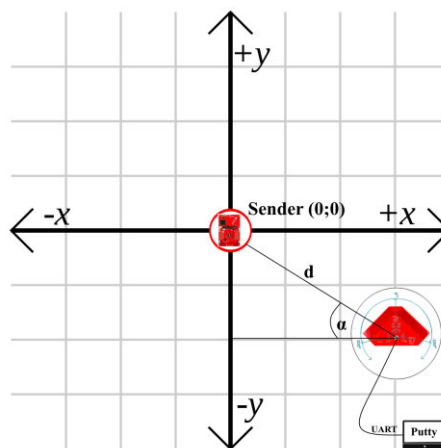


Рис. 1. Схема эксперимента

На основе полученной с оборудования информации об уровне сигнала (RSSI) и угле относительно нормали антенны (AoA) можно рассчитать расстояние между датчиком и антенной:

$$d = d_0 * 10^{\frac{P_0 - P_d}{10n}} \quad (1)$$

где d - расстояние от устройства до передатчика, м;
 d_0 - расстояние от устройства до точки, в которой была измерена мощность сигнала P_0 устройства (выбранное калибровочное расстояние), м
 P_0 - мощность сигнала устройства, измеренная на единичном расстоянии d_0 от устройства, дБм;

P_d - RSSI, дБм;

n - коэффициент потери мощности сигнала при распространении в среде, неизмеримая величина (для воздуха $n = 2$; увеличивается при наличии препятствий).

Погрешность измерения рассчитывается как расстояние в метрах между фактическими координатами маячка и значением, полученным эмпирически. Значение средней погрешности измерения позволяет сравнить полученные результаты тестирования с результатами математического моделирования в MATLAB.

2. Проведение экспериментов

На основе описанной методологии был проведен ряд экспериментов. Серия испытаний включала определение погрешности измерений при перемещении в двумерном пространстве. Помимо этого, было рассмотрено влияние таких факторов как мебель, разница в высоте между маячком и антенной решеткой и размер комнаты. Для проведения экспериментов были выбраны 3 комнаты различных размеров: малая (порядка 8x10 м), большая (10x20 м) и коридор (5x15 м).

3. Результаты экспериментов

Опытным путем было установлено, что максимальная дальность действия антенны Bluetooth рассматриваемого устройства составляет 2,5–3 метра. Поэтому контрольные точки были выбраны с учетом этого ограничения (табл. 1) и для проведения эксперимента была выбрана малая комната. Для каждой из контрольных точек на основе формулы 1 были рас-

считаны измеренные координаты устройства (рис. 2) и расстояние между фактическим положением точки и измеренным. Средние значения погрешности измерения для каждой позиции указаны в таблице. По результатам эксперимента средняя погрешность измерения оборудования составила 0,3237 м.

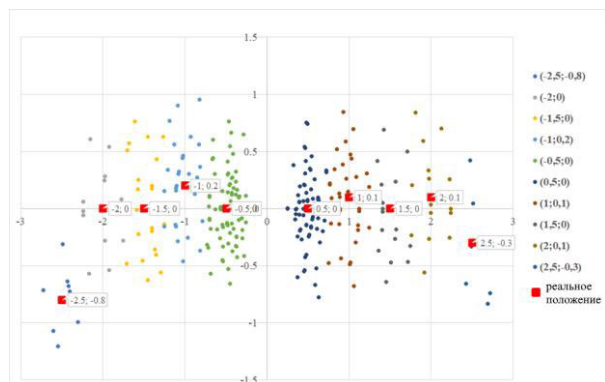


Рис.2. Результаты измерений

Двумя другими ключевыми результатами этого эмпирического исследования являются оценка влияния помех и высоты измерения на результат. В ходе эксперимента было обнаружено, что мебель и разница в высоте между антенной решеткой и маячком не влияют на точность измерения или уровень сигнала (в пределах действия антенны), в то время как расположение приемника и передатчика на противоположных сторонах стены или закрытой двери блокирует сигнал Bluetooth.

Таблица также иллюстрирует сравнение экспериментальных результатов и данных, полученных с использованием модели MATLAB. Можно отметить, что погрешность модели немного ниже, поскольку модель вычисляет угол с большей точностью.

Следовательно, поскольку измерения ограничены расстоянием 2,5–3 м, а сигнал не проходит через стены, необходимо предусмотреть несколько передатчиков для локализации в помещении. В то же время в ходе эксперимента была достигнута точность около 30 см, что является лучшим показателем среди существующих на сегодняшний день научных материалов.

Заключение

Результаты работы позволяют расширить представление и понимание спецификации технологии Bluetooth 5.1. Набор оборудования от Texas Instruments был протестирован в различных условиях, а также определены факторы, влияющие на точность и достоверность измерений. Используемые методы позволили получить наименьшую погрешность измерений среди всех существующих в настоящее время исследованиях. Также была разработана математическая модель MATLAB для тестирования технологии, которая демонстрирует преимущество алгоритма AoA перед другими методами позиционирования.

Таблица 1. Сравнение результатов эксперимента с моделированием в MATLAB

Координаты	Погрешность оборудования, м	Погрешность MATLAB, м
(-2,5; -0,8)	0,2513	0,1461
(-2; 0)	0,3151	0,1867
(-1,5; 0)	0,3949	0,1315
(-1; 0,2)	0,3384	0,1702
(-0,5; 0)	0,2765	0,1785
(0,5; 0)	0,2746	0,2296
(1; 0,1)	0,3192	0,2545
(1,5; 0)	0,3437	0,2462
(2; 0,1)	0,3602	0,2658
(2,5; -0,3)	0,3627	0,1991
Средняя погрешность	0,3237	0,2008

Спецификация Bluetooth 5.1, описанная и исследованная в представленной статье, может широко использоваться для определения местоположения объектов на складах, произведений искусства в галереях или сотрудников в офисных помещениях. Разработанная модель MATLAB может быть в дальнейшем использована для изучения функций Bluetooth 5.1.

Направления будущих исследований включают изучение влияния электрических помех на результат, поиск способов усиления сигнала и визуализацию программного моделирования с использованием пользовательского интерфейса.

Список литературы

- Xu, R., Chen, W., Xu, Y., Ji, S., "A new indoor positioning system architecture using gps signals," Sensors (Switzerland), vol. 15, no. 5, pp. 10074-10087, 2015.
- Kjærgaard, M. B., Blunck, H., Godsk, T., Toftkjær, T., Christensen, D. L., Grønbaek, K., "Indoor positioning using GPS revisited," Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2010.
- Cypriani, M., Lassabe, F., Canalda, P., Spies, F., "Open wireless positioning system: A Wi-Fi-based indoor positioning system," IEEE Vehicular Technology Conference, 2009.
- Jathe, N., Lütjen, M., Freitag, M., "Indoor Positioning in Car Parks by using Wi-Fi Round-Trip-Time to support Finished Vehicle Logistics on Port Terminals," IFAC-PapersOnLine, vol. 52, no. 13, 2019.

5. Ma, C., Wu, B., Poslad, S., Selviah, D. R., "Wi-Fi RTT Ranging Performance Characterization and Positioning System Design," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol 21, no. 2, 2022.

6. Baniukevic, A., Jensen, C. S., Lu, H., "Hybrid indoor positioning with Wi-Fi and Bluetooth: Architecture and performance," Proceedings - IEEE International Conference on Mobile Data Management, vol. 1, 2013.

7. Bembenik, R., Falcman, K., "BLE indoor positioning system using rssi-based trilateration," Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, vol. 11, no. 3, 2020.

8. Banin, L., Schatzberg, U., Amizur, Y., "Next generation indoor positioning system based on WiFi time of flight," 26th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, vol. 2, 2013.

ПРОГРАММНЫЙ ЭМУЛЯТОР УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ "VIRTUAL IOT LAB"

*Антипов М.М., Угодников А.А., Березуцкий Я.С.
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ*

Аннотация

В данной работе рассматривается решение по разработке программного обеспечения, для запуска и работы с Arduino, Raspberry, STM32 в виртуальном пространстве, с возможностью запуска внешнего программного кода или алгоритмов.

Введение

В данный момент на рынке отсутствует эмулятор, позволяющий работать в виртуальном пространстве с микроконтроллерами Arduino, Raspberry, STM32, периферийным оборудованием и датчиками, а также позволяющий компилировать программный код непосредственно на платформе.

Условия карантина продемонстрировали, что подобный продукт может быть использован не только в учебном процессе, но также будет востребован при организации олимпиад, конкурсов хакатонов. Разработанный программный продукт может быть внедрен в образовательный процесс в НИУ ВШЭ для подготовки к практическим занятиям. Планируется внедрять данный программных продукт в рамках работы с абитуриентами и школьниками в рамках профориентационной деятельности, проектов Инженерный класс и IT-класс.

Постановка задачи

Нам было необходимо написать программу, которая удовлетворяет следующим требованиям:

1. Программный функционал эмулятора устройств Интернета вещей, должен содержать набор базовых контроллеров: Raspberry, Arduino.

2. Должна быть реализована программная подсистема сетевого управления, для развертывания и работы с эмулируемыми IoT-устройствами.

3. Программная подсистема должна предоставлять внешний API для реализации пользовательских дополнений в виде датчиков, сенсорных систем, а также других элементов, способных подключаться к системе.

4. Программная подсистема должна производить контроль и проверку разрабатываемого программного кода, а также мониторинга для использования в учебных процессах

5. Программная подсистема должна предоставлять внешний API для реализации пользовательских дополнений в виде контроллеров, способных подключаться к системе.

Обзор существующих решений

На рынке существуют похожее программное обеспечение, но у них есть некоторые недостатки. Виртуальная лаборатория IoTfY содержит набор виртуальных контроллеров и сенсоров, но там не получится поработать с несколькими виртуальными платами одновременно, платформа разрабатывается и не распространяется свободно.

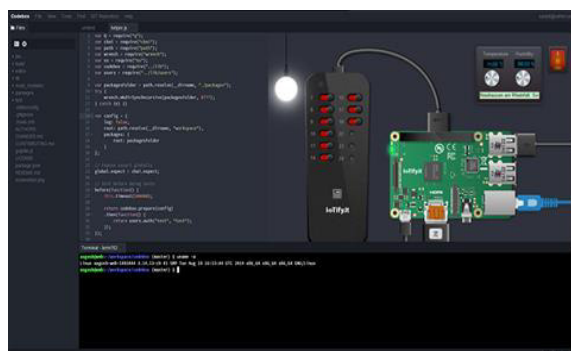


Рис.1. IoTfY Virtual Lab

Среда Tinkercad была включена в список существующих решений, так как позволяет работать с датчиками и Arduino, но Tinkercad не нацелен для создания IoT-проектов, в проекте можно использовать максимум одну плату, поддержка других микроконтроллеров и виртуальных плат не планируется.

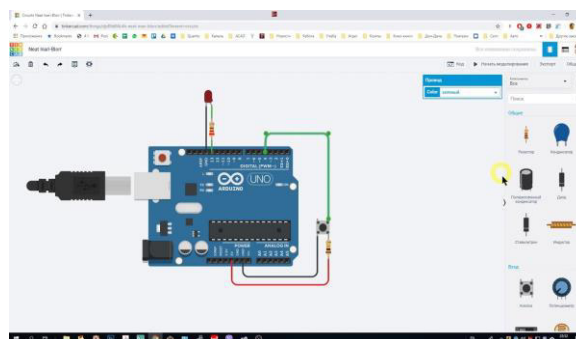


Рис.2. Tinkercad

Технические параметры

Используемые технологии: Angular (JavaScript, HTML, CSS), Flask (Python), Docker.

Рабочий язык ПО: русский.