

**Полуянович Николай Константинович** – Южный федеральный университет; e-mail: nik1-58@mail.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 89508609983; кафедра электротехники и мехатроники.

**Азаров Николай Васильевич** – e-mail: s.t.a.l.k.e.r999@yandex.ru; тел.: 89180242843; кафедра электротехники и мехатроники.

**Дубяго Марина Николаевна** – e-mail: w\_m88@mail.ru; тел.: 89281758225; кафедра электротехники и мехатроники; аспирант.

**Poluyanovich Nikolay Konstantinovich.** – Southern Federal University; e-mail: nik1-58@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +79508609983; the department of electric technics and mechatronics.

**Azarov Nikolay Vasilyevich** – e-mail: s.t.a.l.k.e.r999@yandex.ru; phone: +79180242843; the department of electric technics and mechatronics.

**Dubyago Marina Nikolaevna** – e-mail: w\_m88@mail.ru; phone: +79281758225; the department of electrical engineering and mechatronics; graduate student.

УДК 004.056.53

DOI 10.18522/2311-3103-2022-3-103-118

**Ю.А. Заргарян, В.И. Кошенский, К.О. Кирсанов, М.С. Пресняков**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ BLUETOOTH LOW ENERGY ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЛЮДЕЙ В ПОМЕЩЕНИЯХ**

*Отслеживание местоположения человека в большой стране, большом городе и даже районе давно стало реальностью. Благодаря спутникам появилась возможность точно узнать, где находится человек. Однако такие технологии в большей степени предназначены для определения местоположения на открытой местности, и их сигнал не способен преодолеть большие железобетонные конструкции, а также стены и перекрытия в здании. В данной работе предлагается решение такой проблемы, рассматривается система контроля перемещения людей в помещениях. Такая система не только определяет положение, где находится человек, с точностью до полуметра, но и создаёт базу данных, в которой отображается, дата, время и место обнаружения человека, а также его идентификация с указанием, кто конкретно был обнаружен. Система, описанная в данной работе, очень проста в понимании и имеет низкую стоимость. Работает она с микроконтроллером ESP32 и основана на базе беспроводной технологии передачи данных Bluetooth Low Energy. Микроконтроллер ESP32 выступает в качестве сканера сигнала с параметром RSSI. Полученные данные, а именно RSSI и уникальный идентификатор, который направлен на определение личности человека, отправляются на сервер ThingSpeak, где рассчитывается расстояние до источника, в качестве которого выступает смартфон, определяя его местоположение и фиксирует перемещение. При этом используются методы повышения точности, такие как алгоритм Fingerprint. Во всем помещении на этапе установки системы собираются «отпечатки» в пределах контролируемой территории, у таких контрольных точек определяются эталонные значения RSSI, именно на их основе и происходит определение местоположения человека. Также в данном материале рассматривается решение задачи идентификации и контроля приближения людей к охраняемому объекту и организация системы сбора и хранения статистики посещения подконтрольного объекта.*

*Контроль перемещения; микроконтроллер ESP32; BLE; алгоритм Fingerprint; идентификация; контроль приближения; сбор и хранение статистики.*

Yu.A. Zargaryan, V.I. Koshensky, K.O. Kirsanov, M.S. Presnyakov

## APPLICATION OF BLUETOOTH LOW ENERGY TECHNOLOGY TO CONTROL THE MOVEMENT OF PEOPLE INDOOR

*Tracking the location of a person in a big country, a big city, and even an area has long been a reality. Thanks to satellites, it became possible to know exactly where a person is. However, such technologies are more intended for positioning in open areas, and their signal is not able to overcome large reinforced concrete structures, as well as walls and ceilings in a building. This article proposes a solution to this problem, considers the system for controlling the movement of people in the premises. Such a system not only determines the position where a person is located, with an accuracy of half a meter, but also creates a database that displays the date, time and place of a person's discovery, as well as his identification, indicating who exactly was discovered. The system described in this article is very easy to understand and has a low cost. It works with the ESP32 microcontroller and is based on Bluetooth Low Energy wireless data transfer technology. The ESP32 microcontroller acts as a signal scanner with the RSSI parameter. The received data, namely RSSI and a unique identifier, which is aimed at determining the identity of a person, are sent to the ThingSpeak server, where the distance to the source, which is the smartphone, is calculated, determining its location and recording movement. This uses methods to improve accuracy, such as the Fingerprint algorithm. In the entire room at the installation stage of the system, "fingerprints" are collected within the controlled area, reference RSSI values are determined at such control points, and it is on their basis that a person's location is determined. Also, this material discusses the solution of the problem of identifying and controlling the approach of people to a protected object and the organization of a system for collecting and storing statistics on visiting a controlled object.*

*Movement control; ESP32 microcontroller; BLE; Fingerprint algorithm; identification; proximity control; collection and storage of statistics.*

**Введение.** В современном мире геопозиционирование и геолокация являются повседневной и обыденной задачей для людей. Можно без труда определить своё местоположение с помощью смартфона или иного гаджета. Также несложно построить маршрут и отслеживать своё перемещение в такси, поезде, самолёте или в любом другом транспорте в режиме реального времени.

Но когда речь заходит о контроле перемещения людей внутри помещения, тут сразу возникают определенные трудности, связанные с частичным или полным отсутствием возможности определять точное местоположение внутри здания из-за помех в виде стен или бетонных перекрытий. Также известно, что современные системы контроля и управления доступом зачастую направлены на идентификацию личности по логике системы вход-выход. И такие системы не предоставляют информацию по контролю за перемещением внутри помещения, включая персональную идентификацию. Осуществление подобного контроля является важной задачей для целого ряда направлений таких как [1–3]:

1. Контроль за перемещением людей на режимных объектах и предприятиях.
2. Контроль за посетителями в музеях, на выставках, форумах и многое другое.
3. Задача идентификации и контроля приближения людей к охраняемому объекту.
4. Задача сбора и хранения статистики посещения подконтрольного объекта.

Технологии позиционирования являются одной из самых актуальных тем, поскольку не только связаны с автоматизацией процесса контроля перемещения людей в помещении, но и является весьма перспективным направлением, так как позволяют учитывать почти каждое действие рабочего.

**Анализ существующих решений для контроля перемещения людей в помещениях.** Перед началом работы были проанализированы существующие решения для контроля перемещения людей в помещениях такие как:

1. Позиционирование на основе технологии RFID.
2. Позиционирование на основе технологии машинного зрения.
3. Позиционирование на основе технологии iBeacon.
4. Позиционирование на основе технологии Wi-Fi.
5. Позиционирование на основе технологии UWB.
6. Позиционирование на основе инфракрасных технологий.
7. Позиционирование на основе технологии ZigBee.
8. Позиционирование на основе ультразвуковых технологий.

Важнейшими критериями, для сравнения технологий, были выбраны следующие [4]:

1. Точность поскольку необходимо выбрать технологию, которая будет обеспечивать максимальную точность позиционирования.
2. Область покрытия, потому что для реализации поставленной задачи важна конкретная площадь.
3. Стоимость, поскольку дорогое оборудование будет проблематично использовать и проводить с помощью него эксперименты.
4. Помехоустойчивость, которая будет обеспечивать стабильную работу оборудования.

Теоретические данные для сравнения технологий представлены в табл. 1, однако требуется проверка параметров на практике.

Таблица 1

**Сравнение технологий позиционирования**

Технология	Точность	Область покрытия	Стоимость	Помехоустойчивость
RFID	1–5 м	Комната (Кабинет)	Оборудование: высокая; эксплуатация: низкая	Зависит от способа обработки сигнала
Машинное зрение	0.01–1 м	Кабинет (и более)	Высокая	Чувствительна к освещению
iBeacon	0.01–1 м	Комната (Кабинет)	Низкая	Невысокая
Wi-Fi	~1 м	Территория ТЦ	Низкая	Невысокая
UWB	0.1–0.3 м	Здание	Высокая	Высокая
Инфракрасные технологии	~0.2 м	Комната (Кабинет)	Высокая	Невысокая
ZigBee	0.3–1 м	Комната (Кабинет)	Невысокая	Высокая
Ультразвуковые технологии	~0.03 м	Комната (Кабинет)	Высокая	Невысокая

В результате сравнения, было выявлено, что данным выше критериям больше всех удовлетворяет технология iBeacon. Теоретическая область покрытия и помехоустойчивость удовлетворяют заданным требованиям. Данный метод реализуется на основе технологии Bluetooth Low Energy (BLE). Она является одной из самых низко-затратных, наиболее точной, поскольку существуют методы, с помощью которых можно увеличить данный показатель, а именно алгоритм Fingerprint.

Но технология iBeacon имеет ряд недостатков, например, открытый эфир вещания сигнала, что упрощает взлом системы, а также высокая стоимость и невозможность быстро заменить маячок. Поэтому при реализации данной работы было решено не использовать готовое решение, а разработать своё на базе микроконтроллера ESP32 с использованием технологии Bluetooth Low Energy (BLE). Микроконтроллер имеет низкую стоимость и исключает недостатки маячков iBeacon [1].

**Общие сведения о микроконтроллере ESP32.** Bluetooth – производственная спецификация беспроводных персональных сетей, одна из наиболее популярных технологий для связи устройств. Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами, как персональные компьютеры, мобильные телефоны, планшеты, принтеры, цифровые фотоаппараты, мыши, клавиатуры, джойстики, наушники, гарнитуры и акустические системы, в датчиках, бытовой электронике, медицинских приборах и так далее, на надёжной, бесплатной, повсеместно доступной радиочастоте для ближней связи. Bluetooth позволяет этим устройствам общаться, когда они находятся друг от друга в радиусе около 100 м в старых версиях протокола и до 1500 м начиная с версии Bluetooth 5. Дальность сильно зависит от преград и помех, даже в одном помещении. Bluetooth позволяет работать как в режиме «точка-точка», так и в режиме «звезда». Тем не менее, этот стандарт чаще всего используется для обмена информацией между двумя устройствами [2, 3].

Для примера был рассмотрен микроконтроллер ESP32, отличительная черта которого – наличие двух интегрированных модулей Bluetooth: стандартного Bluetooth и Bluetooth Low Energy (BLE). Модуль BLE потребляет значительно меньше энергии, относительно стандартных классических протоколов Bluetooth. Экономия энергии достигается за счёт того, что информационные пакеты отправляются периодически, по мере необходимости [4]. Данный тип обмена данными не поддерживает обмена файлами. Например, музыку или видео передать не получится. Модули BLE могут использоваться для идентификации типов устройств, обмена информацией со смарт часами, GPS трекерами, фитнес браслетами и прочими приложениями, где требуется оперативный обмен короткими информационными пакетами, отображающими изменение контролируемых параметров. Так, например, возможно отображение уровня заряда батареи, положение точки на маршруте в навигаторе, мониторинг физиологических данных. Соответственно, стандартный Bluetooth выполняет функции обмена файлами, и представляет собой один из вариантов Bluetooth SPP (Serial Port Protocol), поддерживающий работу с большинством существующих устройств со стандартным последовательным протоколом [5, 6].

**Разработка идеологии и концепции всей работы.** В рамках реализации поставленной задачи предлагается следующая структура системы контроля перемещения людей в помещениях, как показано на рис. 1.

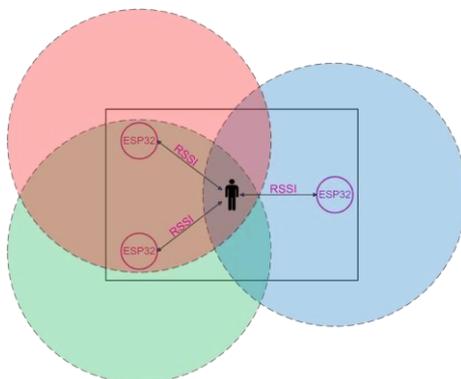


Рис. 1. Общая структура разрабатываемой системы

В помещении размещаются микроконтроллеры ESP32, которые выступают в качестве сканера сигнала Bluetooth Low Energy [7]. В качестве источника сигнала выступает смартфон. Микроконтроллер принимает сигнал Bluetooth Low Energy с параметром RSSI. Это показатель уровня принимаемого сигнала, другими словами, это значение мощности сигнала, поступающего на антенны устройства. RSSI отвечает за измерение расстояния от источника сигнала до сканера [8, 9]. ESP32 получает сигнал, затем данные обрабатываются с помощью алгоритма Fingerprint, после чего используются для расчёта координат устройства [10]. Блок-схема алгоритма Fingerprint представлена на рис. 2. Вся информация о местоположении устройства сохраняется как контрольные точки, которые могут использоваться полностью или частично в будущем для более точного определения местоположения и идентификации личности [11, 12].



Рис. 2. Блок-схема алгоритма Fingerprint

Алгоритм Fingerprint подходит для использования в системах навигации внутри помещения. Значение RSSI, содержащее силовую характеристику мощности сигнала, может быть нестабильно из-за малейших помех или препятствий, очень зависит от давления воздуха, влажности [13]. Разные фильтры и алгоритмы смягчают влияние этих факторов, но при любых помехах точность сильно падает [14, 15].

В данной работе устройство пользователя по задумке выступает источником сигнала BLE, а микроконтроллер – сканером сигнала, алгоритм Fingerprint для определения местоположения предполагает:

1. Расставить микроконтроллеры ESP32 в позиции с лучшим сигналом.
2. Перемещаться по помещению, собирая как можно больше «отпечатков» в разных местах.
3. Пользователь перемещается и смартфон сравнивает текущий отпечаток с теми, что в памяти микроконтроллера. Подобрал ближайший похожий, делается вывод, в какой области находится пользователь.

Пример «отпечатков» представлен на рис. 3.

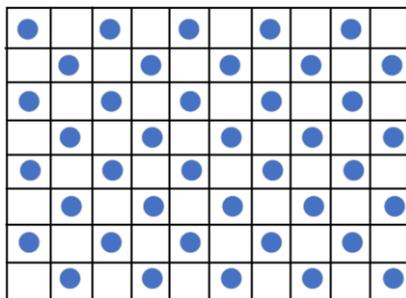


Рис. 3. «Отпечатки» в пределах контролируемой территории

Для наибольшей точности важно использовать не абсолютное значение RSSI, а относительное. Также следует собирать несколько «отпечатков» с одной позиции [16].

ESP32 только сканирует и получает сигнал, его последующий анализ и обработка полностью происходит на сервере, которому все данные передаются по беспроводной технологии Wi-Fi [17, 18]. При этом сервер может быть локальным, так и облачным, алгоритм программы позволяет сделать связь с облаком и выгрузку данных на него. В качестве сервера выступала облачная платформа интернета вещей (IoT) ThingSpeak, которая позволяет собирать, отображать и анализировать потоковые данные [19]. Передача данных на сервер и последующая визуализация представлены на рис. 4. Сервис позволяет отправлять данные в ThingSpeak с различных устройств, настраивать их отображение в реальном времени и отправлять уведомления. После этого данные с сервера считывались MATLAB – выполнялась предобработка, анализ и визуализация данных [20, 21].

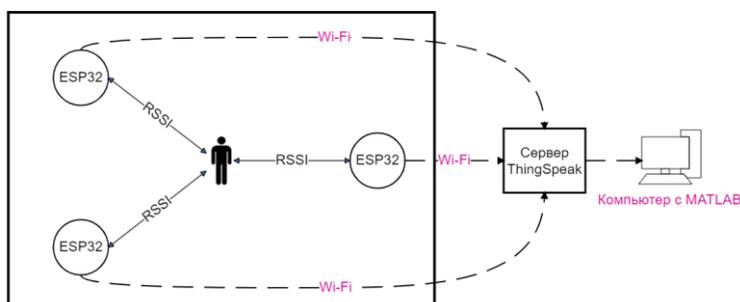


Рис. 4. Передача данных на сервер и последующая визуализация

Базовым элементом системы контроля доступа и перемещения является идентификатор. Идентификаторы устанавливают правила доступа и выступают определителем личности владельца, так как они хранят в себе неповторимые сведения о них. Идентификаторы – это одни из ключевых элементов любой системы безопасности включая системы контроля доступом и перемещения людей в помещении [22]. Чаще всего идентификаторы представляют собой:

1. Смартфон.
2. Умные часы.
3. Каски.
4. Умную одежду и многое другое.

Конечно, надёжность и устойчивость к взлому системы в значительной степени определяется видом системы и типом используемого идентификатора [23, 24].

Структурная схема системы позиционирования на основе технологии BLE, отражающая основные элементы и связи между ними, и функциональная схема представлены на рис. 5.

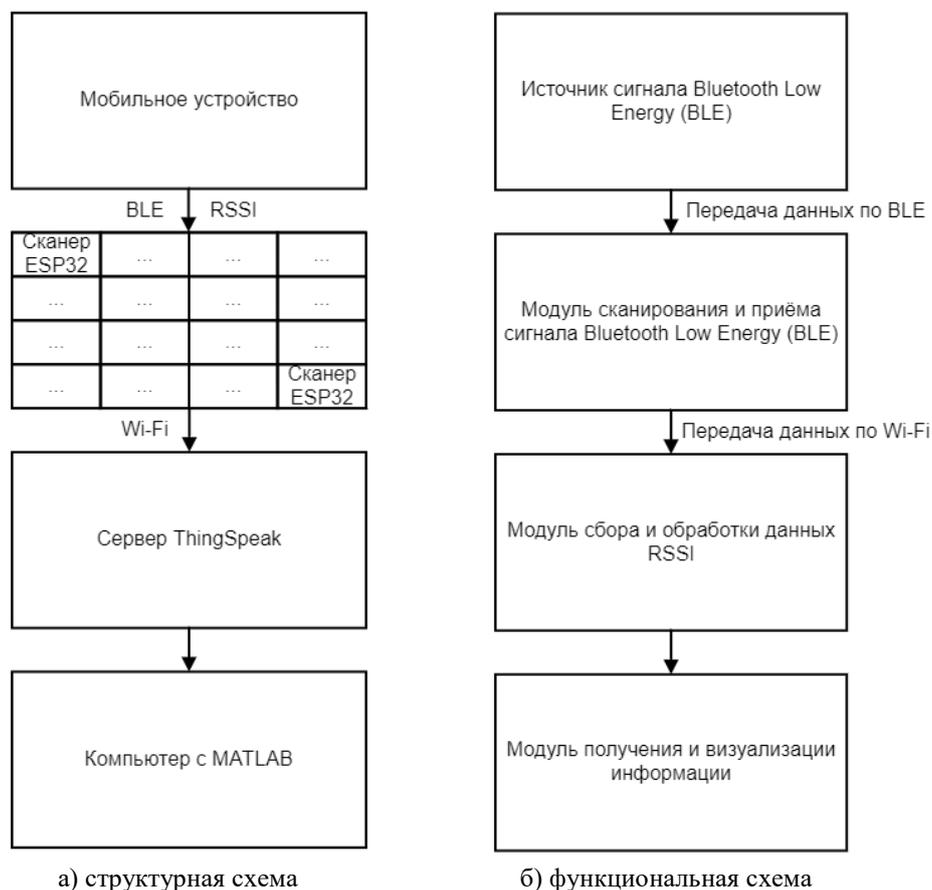


Рис. 5. Структурная и функциональная схемы системы контроля перемещения

**Экспериментальные исследования.** Перед тем, как приступить к экспериментальной части и проведению тестов, был написан код для микроконтроллера ESP32, который позволял сканировать эфир Bluetooth Low Energy. При этом в памяти микроконтроллера необходимые параметры для сканирования, в которые входили имя (Name) сканируемого устройства, уникальный идентификатор (Manufacturer Data) и параметр RSSI, отвечающий за расстояние между источником и приёмником сигнала Bluetooth Low Energy, были прописаны таким образом, чтобы ESP32 мог фильтровать ненужные сигналы и видеть только определённые устройства. Можно сказать, что микроконтроллер имел в своей памяти небольшую базу данных. Для излучения BLE-сигнала со смартфона использовалось приложение BLE Tool.

Когда прошла проверка по имени и по уникальному идентификатору Manufacturer Data, программа микроконтроллера получает параметр RSSI и затем передаёт данные на сервер ThingSpeak, откуда всю информацию считывает компьютер с помощью программы MATLAB.

Первый эксперимент был основан на теоретической информации, полученной при изучении технологии Bluetooth Low Energy и устройств, используемых для проведения экспериментов. Поэтому было решено использовать три микроконтроллера. Схема расстановки микроконтроллеров ESP32 для проведения первого эксперимента представлена на рис. 6.

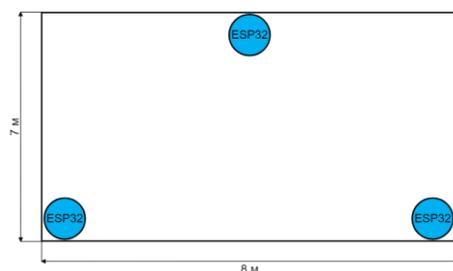


Рис. 6. Схема расстановки микроконтроллеров ESP32 для проведения первого эксперимента

Были сняты контрольные точки для алгоритма Fingerprint и проведены тесты для определения местоположения, как показано на рис. 7.



Рис. 7. Снятие «принтов» и проведение первых экспериментов

Полученные результаты имеют невероятную погрешность, поэтому была изменена конфигурация системы – добавлен один микроконтроллер ESP32 и изменено общее расположение сканеров, как показано на рис. 8.

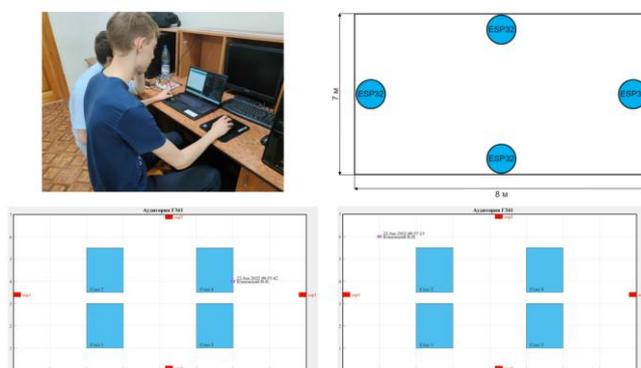


Рис. 8. Эксперимент с изменённой конфигурацией системы

Однако даже при изменённой конфигурации не удалось получить удовлетворительных результатов, и система очень сильно ошибается в определении местоположения объекта.

Чтобы понять, что вызывает помехи и мешает сигналу, создавая погрешность, было принято решение просканировать эфир и неожиданно была обнаружена ещё одна возможность микроконтроллера ESP32, а именно возможность сбора Big Data по существующим беспроводным сигналам, в частности, Wi-Fi и Bluetooth. На рис. 9 представлен эфир беспроводных сетей в аудитории, где проводился эксперимент, во время рабочего дня.



а) эфир Wi-Fi сети



б) эфир Bluetooth сети

Рис. 9. Эфир беспроводных сетей

Можно заметить, что собранная информация содержит имя устройства, если оно есть, MAC-адрес, уникальный идентификатор Manufacturer Data, показатель мощности сигнала txPower и параметр RSSI. Что делать с этими данными – вопрос остаётся открытым, но важно отметить, что такая возможность у микроконтроллера есть.

Исходя из полученных данных возникла необходимость создать «идеальные условия» и максимально уменьшить влияние посторонних сигналов, поэтому было принято решение отправиться в поле для проведения экспериментов. Первым делом была установлена максимальная дальность сигнала в прямой видимости.

Оптимальное расстояние для позиционирования составило 3 метра. Исходя из полученных данных, был построен полигон для экспериментов, имитирующий помещение 6 на 6 метров, как показано на рис. 10.

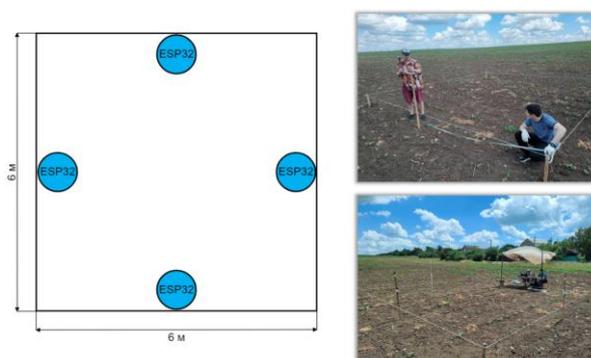


Рис. 10. Построение полигона для экспериментов при «идеальных условиях»

Система без ошибки определила местоположение объекта, точность составляла от 0.5 до 1.5 метров.

Для экспериментов было решено сразу изменить конфигурацию системы для увеличения точности определения местоположения объекта. Был построен полигон для экспериментов, имитирующий помещение 4 на 4 метра.

При такой конфигурации система без ошибок определяла точное местоположение объекта как в центре каждого сегмента, так и в центре всей контролируемой области, а также без ошибок определяла позиции по углам полигона. Точность составляла от 0.5 до 1 метра, эксперименты с определением местоположения представлены на рис. 11,а,б.

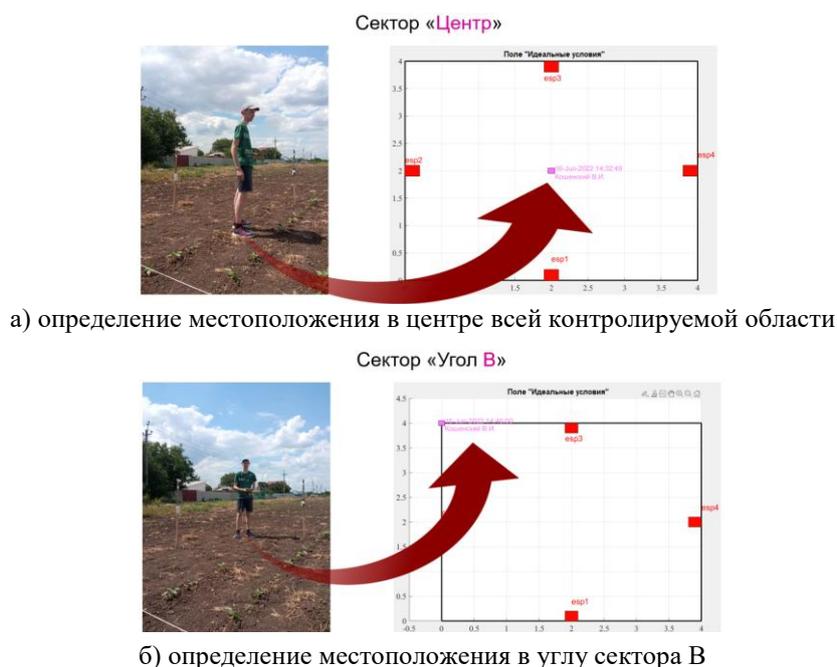


Рис. 11. Результаты экспериментов на полигоне 4 на 4 метра

Полученные результаты позволили рассчитать оптимальное количество микроконтроллеров ESP32 и их расположение в помещении. Были произведены замеры помещения для правильного расположения сканеров. После этого была возведена система в соответствии с полученными во время эксперимента данными, как показано на рис. 12.

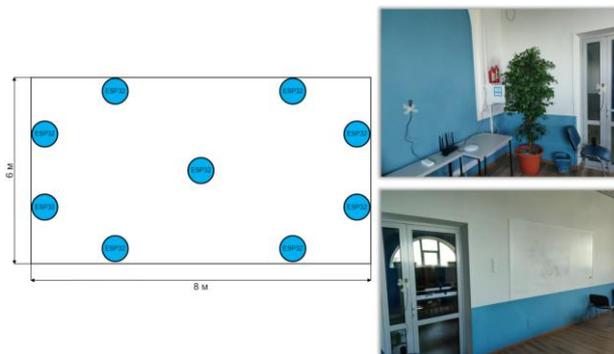


Рис. 12. Система для тестов с оптимальным количеством сканеров

При такой конфигурации система в помещении стала работать во много раз лучше, чем при первых испытаниях внутри помещения, и без ошибок стала определять точное местоположение объекта как в центре каждого сегмента, так и в центре всей контролируемой области, а также без ошибок определяла позиции по углам полигона, показывая превосходные результаты. Точность составляла от 0.5 до 1 метра.

Система также была протестирована на определение нескольких объектов. Были получены отличные результаты по определению местоположения сразу трёх объектов, как показано на рис. 13.

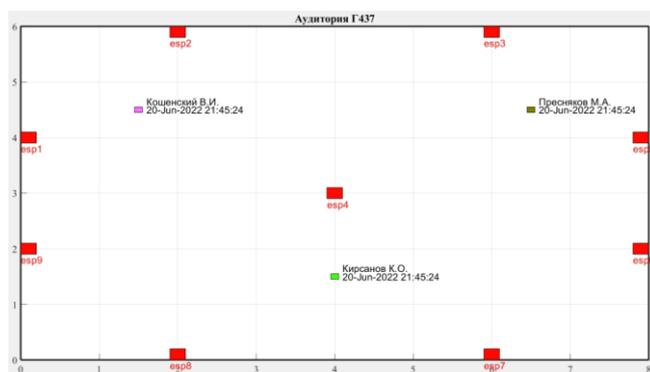


Рис. 13. Определение местоположение нескольких объектов

В рамках данной работы была решена задача идентификации и контроля приближения людей к охраняемому объекту. Было установлено, что максимальная дальность сигнала в помещении составила около 30 метров. Однако оптимальное расстояние для точного позиционирования составило 2 метра. Полученные результаты немного ухудшились по сравнению с экспериментами в поле, это связано с повышенными помехами в помещении.

Были проведены эксперименты на разных расстояниях от условно охраняемого объекта, система без ошибок выводила соответствующие уведомления о приближении, как показано на рис. 14,а,б.

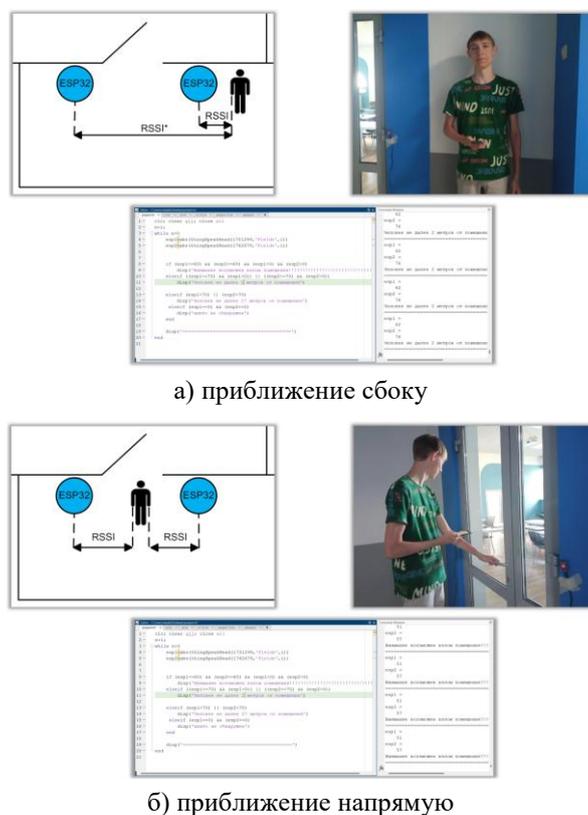


Рис. 14. Эксперименты приближения к охраняемой территории

Важно отметить, что в такой системе необходимо использовать два микроконтроллера ESP32, так как при приближении только к одному микроконтроллеру система может выдать ошибочные результаты о положении объекта, который хочет попасть к подконтрольному объекту. В то время как использование двух микроконтроллеров исключит такие ошибки, так как второй микроконтроллер будет иметь другое значение параметра RSSI и скорректирует информацию о реальном положении объекта. Это также необходимо для идентификации объекта в ситуации, когда он стоит между двумя микроконтроллерами, которые в таком случае получают одинаковые значения RSSI и без ошибки определяют, что непосредственно перед охраняемым объектом кто-то есть.

Также при решении задачи идентификации и контроля приближения людей к охраняемому объекту была решена ещё одна задача, которая заключается в организации системы сбора и хранения статистики посещения подконтрольного объекта, как показано на рис. 15.

Можно заметить, что собранная информация содержит в себе имя человека, который приближался к охраняемому объекту, дату и время приближения, а также расстояние, на котором был человек от охраняемого объекта в момент его обнаружения системой [23, 24].

```

T1 =
'18-Jun-2022 12:31:01'
d =
""
никто не обнаружен
=====
esp1 =
86
esp2 =
83
d =
"Ковенский В.И."
Человек "Ковенский В.И." обнаружен в 18-Jun-2022 12:31:01 не далее 27 метров от помещения
=====
esp1 =
65
esp2 =
58
d =
"Ковенский В.И."
Человек "Ковенский В.И." обнаружен в 18-Jun-2022 12:31:01 не далее 2 метров от помещения
=====
esp1 =
42
esp2 =
58
d =
"Ковенский В.И."
ВНИМАНИЕ! Человек "Ковенский В.И." в 18-Jun-2022 12:31:01 находится прямо у двери
=====

```

Рис. 15. Сбор и хранение статистики посещения подконтрольного объекта

**Вывод.** В данной работе была реализована система для контроля перемещения людей в помещениях с использованием технологии Bluetooth Low Energy на базе микроконтроллера ESP32.

По результатам моделирования и проведённых экспериментов ввиду применения алгоритма Fingerprint удаётся достичь невероятной точности от 0.5 до 1 метра в зависимости от поставленной задачи, а также от количества и качества принтов.

Данная система является достаточно простой, так как для её реализации не требуется большого количества составляющих, а также легко устанавливается и быстро развёртывается. Ещё одним преимуществом является гибкость системы – она легко масштабируется и нет ничего сложного, чтобы подстроить её под помещения практически любой сложности и конфигурации. Также система более надёжна по сравнению с аналогами ввиду отсутствия открытого эфира вещания. Из-за применяемых технологий обработки сигнала система обладает одним из самых высоких значений точности определения позиционирования. К положительным аспектам системы можно также отнести многоцелевой алгоритм, который позволяет конфигурировать и тонко настраивать всю систему под определённые задачи. Несомненным преимуществом системы является её низкая стоимость по сравнению с аналогами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповалов Д.С., Заргарян Ю.А. Особенности типов позиционного трекинга при реализации VR и AR систем // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2020): Сб. трудов XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 3-х т. – Ростов-на-Дону – Таганрог, 2020. – С. 48-52.
2. Губкин В.С., Заргарян Ю.А. Технологии беспроводной передачи данных в современном мире // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика: Сб. трудов X Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума в рамках мероприятий, посвященных году Науки и технологий в Российской Федерации. – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 188-191.
3. Кошенский В.И., Заргарян Ю.А. Особенности функционирования BLE в микроконтроллере ESP32 // Сб. трудов международной молодежной школы С 23 «Инженерия – XXI» (г. Новороссийск, 21-22 апреля 2022 г.) / под общ. ред. к.ф.н. доцента И.В. Чистякова. – Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 65.
4. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V. Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH - 2020 // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 2085 (3). – P. 032057(1-7). – DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032057.

5. Диков А.И., Мойся Р.А., Толченников С.А., Коптева А.В., Витченко В.А., Шестова Е.А. Анализ систем контроля перемещения транспорта // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика (ПАРУСА-2021): Сб. трудов X Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума в рамках мероприятий, посвященных году Науки и технологий в РФ, г. Геленджик. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2021. – С. 163-168.
6. Заргарян Ю.А., Курсанов К.О., Соловьева В.О. Разработка лабораторного стенда для исследования технологии беспроводной передачи ZigBee // Сб. трудов XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием (9–11 декабря 2021 г.). – С. 275-278.
7. Zargarjan E.V., Zargarjan Ju.A., Finaev V.I. Information support for the training of fuzzy production account balance in the conditions of incomplete data // Innovative technologies and didactics in teaching (ITDT-2016): Collected papers. – 2016. – P. 128-138.
8. Beloglazov D., Shapovalov I., Soloviev V., Zargaryan E. The hybrid method of path planning in non-determined environments based on potential fields // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, No. 23. – P. 6762-6772.
9. Финаев В.И., Заргарян Ю.А., Заргарян Е.В., Соловьев В.В. Формализация групп подвижных объектов в условиях неопределённости для выбора управляющих решений // Информатизация и связь. – 2016. – № 3. – С. 56-62.
10. Аламир Х.С., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А. Модель прогнозирования транспортного потока на основе нейронных сетей для предсказания трафика на дорогах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 6 (223). – С. 124-132.
11. Ivanova N.A., Begun O.V., Dmitrieva I.A., Milesenko L.P., Sklifus R.V. Impact of Road Transport on The Environmental Situation in the Urban Environment // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Krasnoyarsk, Russia, 2021. – P. 2600-2606.
12. Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Номерчук А.Я. Оценка состояния динамического взвешивания с использованием фильтра Калмана // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2022. – № 2 (2022). – С. 236-249.
13. Технология ZigBee. – URL: <https://habr.com/ru/post/155037/>.
14. JOB50.RU. – URL: <https://job50.ru/>.
15. PERSON-AGENCY. – URL: <https://person-agency.ru/salary-programmist.html>.
16. Шестова Е.А., Шадрин В.В. Исследование построения видов операций над нечеткими множествами и нечеткой аппроксимирующей системы в среде MATLAB: учеб. пособие. – Таганрог, 2019.
17. Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю. Проектирование и моделирование объемного гидропривода. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.
18. АРДУИНО РОСТОВ. – URL: <https://xn---7sbhgu4ahbanfng.xn--p1ai/>.
19. IBEACONRUSSIA. – URL: <https://www.ibeaconrussia.ru/gateway-beacon.html>.
20. Идентификаторы. – URL PERCo: <https://www.perco.ru/products/identifikatory/>.
21. Thingspeak. – URL: <https://thingspeak.com/>.
22. Об использовании облачного сервиса. – URL: <https://www.radiokot.ru/articles/81/>.
23. Отпечаток браузера. – URL: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/521550/>.
24. Технологии позиционирования. – URL: <https://merusoft.ru/tehnologii-pozicionirovaniya-vnutri-pomeshhenij-rtls/>.

## REFERENCES

1. Shapovalov D.S., Zargaryan Yu.A. Osobennosti tipov pozitsionnogo trekinga pri realizatsii VR i AR sistem [Features of positional tracking types in the implementation of VR and RD systems], *Informatsionnye tekhnologii, sistemnyy analiz i upravlenie (ITSAU-2020): Sb. trudov KHVIII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov* [Information technologies, System analysis and Management (ITSAU-2020). Proceedings of the XVIII All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, postgraduates and students]. In 3 vol. Rostov-on-Don – Taganrog, 2020, pp. 48-52.
2. Gubkin V.S. Zargaryan Yu.A. Tekhnologii besprovodnoy peredachi dannykh v sovremennom mire [Wireless data transmission technologies in the modern world], *Problemy avtomatizatsii. Regional'noe upravlenie. Svyaz' i akustika: Sb. trudov X Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii i molodezhnogo nauchnogo foruma v ramkakh meropriyatiy, posvyashchennykh godu Nauki i*

- tehnologiy v Rossiyskoy Federatsii* [Automation problems. Regional management. Communication and acoustics. proceedings of the x All-Russian Scientific Conference and Youth Scientific Forum within the framework of events dedicated to the Year of Science and Technology in the Russian Federation]. Rostov-on-Donu, 2021, pp. 188-191.
3. *Koshenskiy V.I., Zargaryan Yu.A.* Osobennosti funktsionirovaniya BLE v mikrokontrollere ESP32 [Features of functioning in the ESP32 microcontroller], *Sb. trudov mezhdunarodnoy molodezhnoy shkoly C 23 «Inzheneriya – XXI» (g. Novorossiysk, 21-22 aprelya 2022 g.)* [Proceedings of the international youth school S 23 "Engineering – XXI century" (Novorossiysk, April 21-22, 2022)], under the general editorship I.V. Chistyakova. Novorossiysk: Izd-vo NF BGTU im. V.G. Shukhova, 2022, pp. 65.
  4. *Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V.* Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH – 2020, *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 2085 (3), pp. 032057(1-7). DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032057.
  5. *Dikov A.I., Moysya R.A., Tolchennikov S.A., Kopteva A.V., Vitchenko V.A., Shestova E.A.* Analiz sistem kontrolya peremeshcheniya transporta [Analysis of transport movement control systems], *Problemy avtomatizatsii. Regional'noe upravlenie. Svyaz' i akustika (PARUSA-2021): Sb. trudov X Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii i molodezhnogo nauchnogo foruma v ramkakh meropriyatiy, posvyashchennykh godu Nauki i tekhnologiy v RF, g. Gelendzhik* [Automation problems. Regional management. Communication acoustics and (SAILS-2021): proceedings of the x All-Russian Scientific Conference and Youth Scientific Forum in the framework of events dedicated to the Year of Science and Technology in the Russian Federation, Gelendzhik]. Rostov-on-Don; Taganrog: Izd-vo YuFU, 2021, pp. 163-168.
  6. *Zargaryan Yu.A., Kirsanov K.O., Solov'eva V.O.* Razrabotka laboratornogo stenda dlya issledovaniya tekhnologii besprovodnoy peredachi ZigBee [Development of a laboratory stand for the study of the technology of wireless transmission of ZigBee networks], *Sb. trudov XVIII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov s mezhdunarodnym uchastiem (9–11 dekabrya 2021 g.)* [Proceedings of the XVIII All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students with International Participation (December 9-11, 2021)], pp. 275-278.
  7. *Zargarjan E.V., Zargarjan Ju.A., Finaev V.I.* Information support for the training of fuzzy production account balance in the conditions of incomplete data, *Innovative technologies and didactics in teaching (ITDT-2016): Collected papers*, 2016, pp. 128-138.
  8. *Beloglazov D., Shapovalov I., Soloviev V., Zargaryan E.* The hybrid method of path planning in non-determined environments based on potential fields, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, Vol. 12, No. 23, pp. 6762-6772.
  9. *Finaev V.I., Zargaryan Yu.A., Zargaryan E.V., Solov'ev V.V.* Formalizatsiya grupp podvizhnykh ob"ektov v usloviyakh neopredelennosti dlya vybora upravlyayushchikh resheniy [Formalization of groups of mobile objects under uncertainty for the choice of control solutions], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and Communication], 2016, No. 3, pp. 56-62.
  10. *Alamir Kh.S., Zargaryan E.V., Zargaryan Yu.A.* Model' prognozirovaniya transportnogo potoka na osnove neyronnykh setey dlya predskazaniya trafika na dorogakh [A traffic flow prediction model based on neural networks for predicting traffic on the roads], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2021, No. 6 (223), pp. 124-132.
  11. *Ivanova N.A., Begun O.V., Dmitrieva I.A., Mileshko L.P., Sklifus R.V.* Impact of Road Transport on The Environmental Situation in the Urban Environment, *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Krasnoyarsk, Russia, 2021*, pp. 2600-2606.
  12. *Zargaryan E.V., Zargaryan Yu.A., Nomerchuk A.Ya.* Otsenka sostoyaniya dinamicheskogo vzhivaniya s ispol'zovaniem fil'tra Kalmana [Estimation of the state of dynamic weighing using the Kalman filter], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2022, No. 2 (2022), pp. 236-249.
  13. Tekhnologiya ZigBee [ZigBee technology]. Available at: <https://habr.com/ru/post/155037/>.
  14. JOB50.RU. Available at: <https://job50.ru/>.
  15. PERSON-AGENCY. Available at: <https://person-agency.ru/salary-programmist.html>.
  16. *Shestova E.A., Shadrina V.V.* Issledovanie postroeniya vidov operatsiy nad nechetkimi mnozhestvami i nechetkoy approksimiruyushchey sistemy v srede MATLAB: ucheb. posobie [Investigation of the construction of types of operations on fuzzy sets and a fuzzy approximating system in MATLAB: textbook]. Taganrog, 2019.

17. Solov'ev V.V., Zargaryan E.V., Zargaryan Yu.A., Beloglazov D.A., Kosenko E.Yu. Proektirovanie i modelirovanie ob"emnogo gidroprivoda [Design and modeling of a volumetric hydraulic drive]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2015, 97 p.
18. ARDUINO ROSTOV [ARDUINO ROSTOV]. Available at: <https://xn----7sbhgu4ahbanfnng.xn--p1ai/>.
19. IBEACONRUSSIA. Available at: <https://www.ibeaconrussia.ru/gateway-beacon.html>.
20. Identifikatory [Identifiers]. URL PERCo: <https://www.perco.ru/products/identifikatory/>.
21. Thingspeak. Available at: <https://thingspeak.com/>.
22. Ob ispol'zovanii oblachnogo servisa [About using the cloud service]. Available at: <https://www.radiokot.ru/articles/81/>.
23. Otpechatok brauzera [Browser fingerprint]. Available at: <https://habr.com/ru/company/selectel/blog/521550/>.
24. Tekhnologii pozitsionirovaniya [Positioning technologies]. Available at: <https://merusoft.ru/tehnologii-pozicionirovaniya-vnutri-pomeshhenij-rtls/>.

Статью рекомендовала к опубликованию к.т.н., доцент Н.А. Иванова.

**Заргарян Юрий Артурович** – Южный федеральный университет, e-mail: [yazargaryan@sfedu.ru](mailto:yazargaryan@sfedu.ru); г. Таганрог, Россия; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

**Кошенский Вадим Игоревич** – e-mail: [koshenskii@sfedu.ru](mailto:koshenskii@sfedu.ru); кафедра систем автоматического управления; бакалавр.

**Кирсанов Кирилл Олегович** – e-mail: [kkirsanov@sfedu.ru](mailto:kkirsanov@sfedu.ru); кафедра систем автоматического управления; бакалавр.

**Пресняков Максим Сергеевич** – e-mail: [mpresniakov@sfedu.ru](mailto:mpresniakov@sfedu.ru); кафедра систем автоматического управления; бакалавр.

**Zargaryan Yuri Arturovich** – Southern Federal University, e-mail: [yazargaryan@sfedu.ru](mailto:yazargaryan@sfedu.ru); Taganrog, Russia; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Koshensky Vadim Igorevich** – e-mail: [koshenskii@sfedu.ru](mailto:koshenskii@sfedu.ru); the department of automatic control systems; bachelor.

**Kirsanov Kirill Olegovich** – e-mail: [kkirsanov@sfedu.ru](mailto:kkirsanov@sfedu.ru); the department of automatic control systems; bachelor.

**Presnyakov Maxim Sergeevich** – e-mail: [mpresniakov@sfedu.ru](mailto:mpresniakov@sfedu.ru); the department of automatic control systems; bachelor.