

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматики и информационных технологии

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Есенгельдиева Аяжан Дарханкызы

На тему: «Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении на
основе модулей точного позиционирования»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B06201 - Телекоммуникация

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ЭТиКТ
канд. техн. наук, ассоциированный
профессор
Е. Таштай
27 05 2025 г.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: «Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении
на основе модулей точного позиционирования»

Образовательная программа: 6В06201 – Телекоммуникация

Выполнила

Рецензент

Доцент Алматинского университета
энергетики и связи имени Г.Даукеева

 Байкенов А.С.

"24 " 05 2025 г.



Есенгельдиева А.Д.

Научный руководитель

канд. техн. наук, ассоциированный
профессор

 Жигалов В.А.

"24 " 05 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ОП «6В06201 Телекоммуникация»



УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
Е.Таштай
20 мая 2025 г

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающимся: Есенгельдиева Аяжан Дарханқызы, Тажимуратова Анель
Жанайдаровна

Тема: Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении
на основе модулей точного позиционирования.

Утверждена приказом ректора университета № 267/0 от « 29 » января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы « 30 » мая 2025 г.

Исходные данные к дипломной работе:

Необходимо разработать мобильное устройство, позволяющее мониторить уровень
сигнала Wi-Fi-сетей в помещениях, используя систему точного (+2 см) позиционирования.
Пользователь, перемещаясь с устройством внутри помещения, будет находиться в зоне
покрытия системы ультразвуковых маячков, обеспечивающей точное определение его
положения. Используя получаемую информацию о позиции, устройство будет считывать
уровень сигнала принимаемых Wi-Fi сетей и записывать их во внутреннюю память в привязке
к координатам.

Краткое содержание дипломной работы:

1. Анализ существующих решений мониторинга Wi-Fi сигналов. (Есенгельдиева Аяжан
Дарханқызы)
2. Выбор схемных решений для устройства мониторинга. (Тажимуратова Анель
Жанайдаровна)
3. Разработка принципиальной схемы устройства. (Тажимуратова Анель
Жанайдаровна)
4. Разработка платы устройства. (Есенгельдиева Аяжан Дарханқызы)
5. Разработка программы для микроконтроллера. (Тажимуратова Анель
Жанайдаровна)
6. Создание и тестирование макетной версии устройства. (Есенгельдиева Аяжан
Дарханқызы)

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Архитектура системы мониторинга Wi-Fi сигнала
2. Интерфейс программного обеспечения Marvelmind Dashboard

3. Схема UART-соединения компонентов устройства
4. Итоговая структурная схема устройства мониторинга
5. Конструкция корпуса устройства

Рекомендуемая основная литература:

1. Таненбаум Э.С. Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2013. (Классический учебник по компьютерным сетям)
2. Гейер, Джим. "Беспроводные сети: первый шаг". — Москва: Вильямс, 2005.
3. Биняковский, Александр, Петин, Виктор. "Практическая энциклопедия Arduino" — Москва: ДМК Пресс, 2017.
4. Белоус А., Шведов С., Мерданов М. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия. Книга 1. — 2021.
5. Программа сетевой академии Cisco CCNA 1 и 2. Вспомогательное руководство, 3-е издание, с испр.: Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Уильямс», 2008 год – 1168 с.

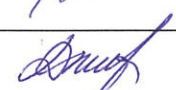
ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Аналитический обзор литературы по картографированию сигнала Wi-Fi и технологиям точного позиционирования	01.02.2025	Вополнено
Проектирование архитектуры системы картографирования Wi-Fi	15.02.2025	Вополнено
Разработка схемы модуля для точного позиционирования	01.03.2025	Вополнено
Разработка программного обеспечения для обработки данных и построения карты сигнала	01.04.2025	Вополнено
Тестирование макетной версии системы картографирования	15.04.2025	Вополнено

Подписи

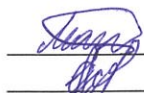
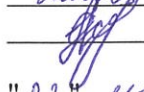
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	Ассоциированный профессор, кандидат технических наук Жигалов В.А.	20.05.2025	
Основная часть	Ассоциированный профессор, кандидат технических наук Жигалов В.А.	20.05.2025	
Нормоконтролер	Ассистент кафедры ЭТиКТ Досбаев Ж.М.	22.05.25	

Научный руководитель

 Жигалов В.А.

Задание приняли к исполнению обучающиеся

 Тажимуратова А. Ж.,
 Есенгельдиева А.Д.

Дата

"22" мая 2025 г.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена разработке технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещениях с применением модулей точного позиционирования (GPS, GLONASS и локальные системы). Цель — создание системы для точного измерения сигнала в разных точках пространства. В работе рассматриваются методы картографирования и существующие технологии анализа сигнала в закрытых помещениях. Разработанная система позволит повысить точность и скорость построения карт покрытия, что будет полезно для оптимизации Wi-Fi сетей.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс дәл позициялау модульдерін (GPS, ГЛОНАСС және жергілікті жүйелер) пайдалана отырып, үй-жайлардағы Wi-Fi сигналының деңгейін картаға түсіру технологиясын дамытуға арналған. Мақсаты – кеңістіктегі әртүрлі нүктелердегі сигналды дәл өлшеу жүйесін құру. Жұмыста жабық үй-жайларда сигналды талдаудың карталау әдістері мен қолданыстағы технологиялары қарастырылады. Әзірленген жүйе қамту карталарын құрудың дәлдігі мен жылдамдығын жақсартады, бұл Wi-Fi желілерін оңтайландыру үшін пайдалы болады.

ANNOTATION

The diploma work is devoted to the development of technology for mapping the level of Wi-Fi signal in premises using modules of precise positioning (GPS, GLONASS and local systems). The goal is to create a system for precise measurement of the signal at different points in space. The work considers mapping methods and existing technologies for signal analysis in closed premises. The developed system will improve the accuracy and speed of building coverage maps, which will be useful for optimizing Wi-Fi networks.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Анализ существующих решений мониторинга WiFi сигналов	9
1.1 Подходы к измерению уровня WiFi сигнала RSSI (Received Signal Strength Indicator)	9
1.2 Проблемы существующих	13
2 Разработка программного обеспечения для обработки данных и построения карты сигнала	16
2.1 Архитектура программного обеспечения	16
2.2 Сбор и обработка данных	20
2.3 Визуализация сигнала WiFi	23
3 Создание и тестирование макетной версии устройства	26
3.1 Разработка аппаратной части системы	26
3.2 Разработка протокола взаимодействия между устройством и ПО	28
3.3 Сбор данных в тестовой зоне	29
3.4 Тестирование и анализ результатов	30
Заключение	35
Список использованной литературы	36

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество невозможно представить без беспроводных технологий передачи данных, и Wi-Fi занимает в этом списке ключевую позицию. С развитием умных домов, офисов и систем автоматизации возрастает потребность в более точной оценке качества сигнала в помещениях. Карта уровня сигнала Wi-Fi – это не просто иллюстрация зон покрытия, а важный инструмент для оптимизации расположения маршрутизаторов, улучшения стабильности соединения и устранения «мёртвых зон».

Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении становится особенно актуальной в условиях высокой плотности беспроводных устройств и сложности архитектурных планировок зданий. Всё чаще требуется не просто наличие сигнала, а его устойчивость и равномерное распределение в каждом помещении. Одним из передовых решений становится использование модулей точного позиционирования, позволяющих с высокой точностью определять координаты точек замеров. Это даёт возможность строить более точные и детализированные карты покрытия.

Ранее подобные карты строились вручную или с помощью менее точных инструментов, что не позволяло учесть множество важных факторов. Использование координатных модулей в режиме реального времени открывает путь к автоматизации процесса и повышает точность получаемых данных. Это особенно важно в больших пространствах – офисах, торговых центрах, производственных зданиях, где бесперебойная связь необходима для стабильной работы оборудования и комфорта пользователей.

Цель работы заключается в разработке методики построения карты уровня сигнала Wi-Fi с применением современных модулей позиционирования. Актуальность темы обусловлена необходимостью точной и быстрой диагностики беспроводного покрытия в условиях постоянно растущей нагрузки на сети. Объектом исследования выступает процесс анализа сигнала Wi-Fi в помещении, предметом – методика построения карты покрытия с использованием технологий позиционирования.

1 Анализ существующих решений мониторинга WiFi сигналов

1.1 Подходы к измерению уровня Wi-Fi сигнала RSSI (Received Signal Strength Indicator)

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – это индикатор мощности принимаемого сигнала, измеряемый в беспроводных сетях. Он представляет собой относительное значение, показывающее, насколько сильным является сигнал, полученный приёмником от передатчика. Обычно RSSI не отображается в абсолютных единицах (например, dBm), а варьируется в пределах от 0 до 100 или в пределах, установленных производителем оборудования.

RSSI широко используется в системах беспроводной навигации и позиционирования, особенно в помещениях, где традиционные методы GPS оказываются неэффективными. Одним из таких методов является location fingerprinting, при котором вначале формируется база данных (радиокарта), содержащая RSSI-отпечатки в разных точках пространства. Затем текущие значения RSSI сравниваются с этими отпечатками, чтобы определить местоположение устройства [1].

При этом RSSI подвержен различным искажениям из-за многолучевого распространения сигнала, препятствий (стены, мебель и т.д.) и изменений в окружающей среде. Однако несмотря на это, RSSI остаётся практичным и широко применяемым параметром для позиционирования в помещениях.

Исследование Benkic и соавт. (2008) подробно рассматривает зависимость RSSI от расстояния. В нём показано, что мощность сигнала, в общем случае, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника. Тем не менее, в реальной среде эта зависимость может быть нелинейной и непредсказуемой из-за отражений, преломлений и других эффектов распространения радиоволн [2]. Перед представлением графика зависимости RSSI от расстояния приведён Рисунок 1.1.

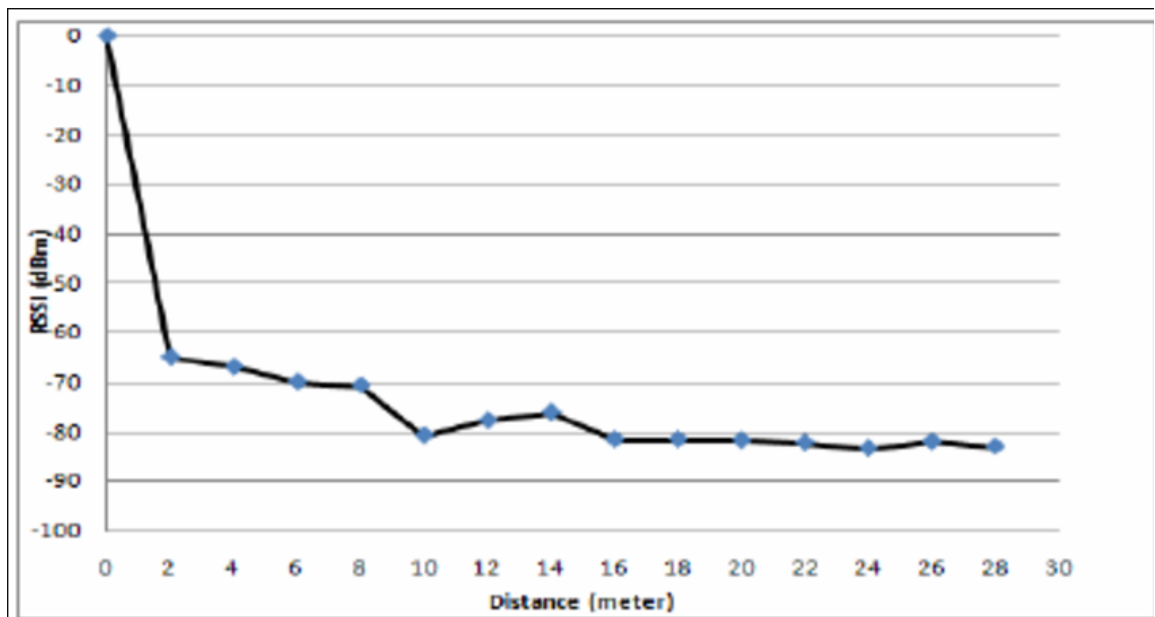


Рисунок 1.1 – График зависимости RSSI от расстояния

1.1.1 Метод определения расстояния с помощью RSSI

RSSI измеряется в децибелах милливатт (dBm), и его значение может быть использовано для определения расстояния до передатчика:

$$RSSI = RSSI0 - 10 \cdot n \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right), \quad (1)$$

где RSSI – уровень принимаемого сигнала,
 RSSI0 – уровень сигнала на калибровочном расстоянии,
 n – коэффициент потерь мощности сигнала при распространении в среде,
 d – расстояние до устройства от передатчика,
 d0 – калибровочное расстояние.

Используя эту формулу, можно рассчитать расстояние до источника сигнала, что является ключевым компонентом для систем позиционирования [3].

1.1.2 Фильтрация сигнала

Однако при работе с радиосигналами могут возникать проблемы, связанные с помехами, препятствиями и шумом, которые оказывают влияние на точность измерений RSSI. Чтобы повысить точность, разработчики часто применяют алгоритмы фильтрации. Одним из таких методов является экспоненциальное бегущее среднее, которое использует последние значения RSSI для сглаживания результата.

Формула для экспоненциального бегущего среднего имеет вид:

$$S_i = x_i \cdot k + S_{i-1} \cdot (1 - k), \quad (2)$$

где x_i – текущее значение сигнала,

k – коэффициент фильтрации.

Этот метод позволяет уменьшить погрешности и повысить точность вычислений [4].

1.1.3 Особенности сканирования и управления безопасностью в разных ОС

Сканирование Wi-Fi сетей осуществляется по-разному в зависимости от используемой операционной системы, что особенно важно при разработке приложений для позиционирования или мониторинга сетей. Это связано с различиями в уровне доступа к API, ограничениями безопасности и архитектурными особенностями платформ.

Мобильные ОС: iOS, Android, Windows.

По данным статьи Зинченко Л., Сорокин Б. (2014), в мобильных устройствах на базе iOS, Android и Windows возможности сканирования Wi-Fi существенно различаются:

- iOS: Apple строго ограничивает доступ к Wi-Fi-информации. Сторонние приложения не могут выполнять полноценное сканирование сетей, в том числе получать RSSI соседних точек доступа. Это затрудняет реализацию indoor-навигации и анализа радиосреды [5].

Использование Wi-Fi API ограничено системными приложениями.

- Android: более открытая система, позволяющая выполнять сканирование доступных Wi-Fi сетей через WifiManager. Однако, начиная с Android 10, вводятся жёсткие ограничения:

- а) Сканирование из фона (background scanning) ограничено или запрещено.

- б) Требуется наличие разрешений ACCESS_FINE_LOCATION и активного геолокационного сервиса (даже если используется только Wi-Fi).

Эти меры направлены на защиту конфиденциальности пользователя.

- Windows (в т. ч. Windows RT / планшеты): более гибкая система, но с вариациями в зависимости от версии ОС. В некоторых версиях ограничена установка нестандартных приложений, что влияет на возможность использовать сторонние драйверы или более глубокий доступ к сети.

Про микроконтроллеры вроде ESP32 и Arduino.

Микроконтроллеры по типу ESP32 работают с Wi-Fi напрямую - через библиотеку WiFi.h можно получить список всех доступных сетей и их уровень сигнала (RSSI). Всё это делается без каких-либо ограничений со стороны операционной системы, ведь её тут просто нет. Поэтому с ESP32 удобно экспериментировать, если нужно постоянно следить за уровнем сигнала или строить свою систему позиционирования.

Arduino с Wi-Fi шилдом тоже умеет сканировать сети, но точность и гибкость там поменьше по сравнению с ESP32. Тем не менее, оба варианта позволяют свободно использовать данные сигнала – в отличие от Android, где

сканирование в фоне может быть заблокировано, а для доступа вообще нужно включать геолокацию и получать разрешения.

Поэтому если нужна полная свобода и никакой политики конфиденциальности не мешает – микроконтроллеры подойдут отлично.

1.1.4 Аппаратные решения и программное обеспечение для анализа Wi-Fi

NetSpot:

Это десктопное приложение для macOS и Windows, предназначенное для Wi-Fi-анализа и построения тепловых карт покрытия. Позволяет собирать данные о сигнале (включая RSSI), визуализировать зоны покрытия и анализировать помехи. Удобно для предварительной калибровки в системах позиционирования по методу отпечатков (fingerprinting) [6].

WiFi Analyzer (Android):

Приложение из Google Play, активно используется для анализа окружающих Wi-Fi сетей. Показывает SSID, уровень сигнала, канал, частоту и другие параметры. Часто используется для оценки качества сигнала и выбора оптимального канала в домашней или офисной сети. Преимущество – мобильность, недостаток – ограничения Android (например, необходимость включать геолокацию и невозможность постоянного сканирования в фоне на Android 10+ и выше).

Acrylic WiFi (Windows):

Программа для анализа Wi-Fi в Windows, используется для сбора информации о доступных точках, измерения уровня сигнала, MAC-адресов, шифрования и других параметров. Поддерживает экспорт данных и может быть полезна в тестировании систем позиционирования, особенно на стадии сбора fingerprint-данных.

ESP32 и низкоуровневый доступ (официальная документация Espressif):

ESP32 позволяет осуществлять низкоуровневое сканирование Wi-Fi-сетей с помощью API из набора Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF). Можно получить список всех доступных сетей, включая SSID, RSSI, MAC-адреса и тип шифрования. Доступ осуществляется через системные вызовы без ограничений со стороны операционной системы, что делает ESP32 удобным для разработки встроенных решений, где требуется полный контроль над процессом сканирования.

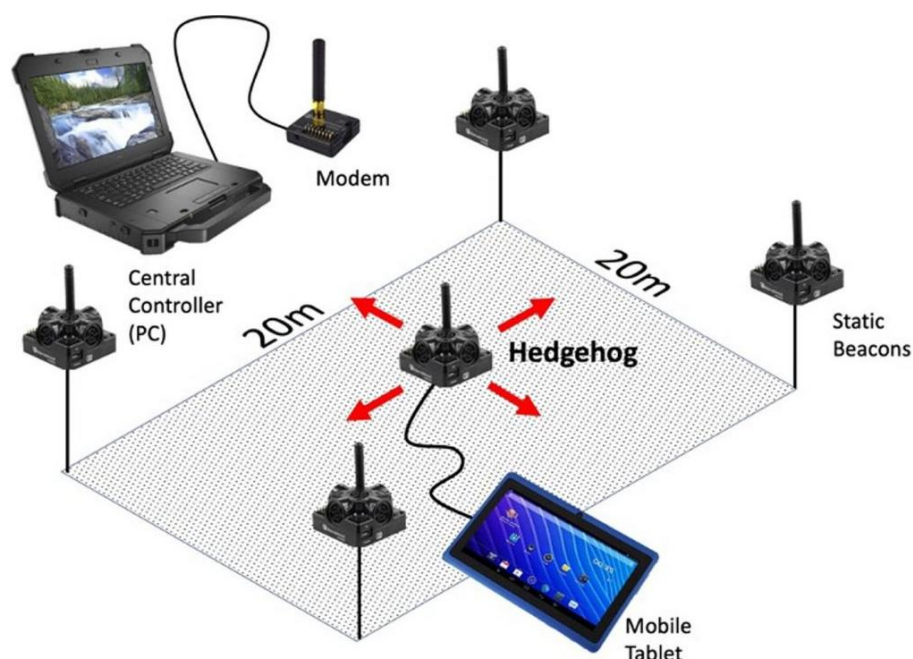


Рисунок 1.2 – Схема использования системы Marvelmind для сбора координат

Marvelmind Indoor Positioning System:

Система точного позиционирования в помещениях с ультразвуковыми маяками. Обеспечивает точность до ± 2 см. Состоит из стационарных и мобильных маяков, модема и ПО для настройки. Поддерживает интеграцию через API, работает в 2D и 3D-конфигурациях, подходит для навигации роботов, дронов и других объектов [7]. Для наглядности представлена схема Marvelmind, изображённая на рисунке 1.2.

1.2 Проблемы существующих решений

Ограничения традиционных подходов к позиционированию в помещениях.

Метод позиционирования по Wi-Fi, основанный на радиоподписи (RSSI fingerprinting), демонстрирует ограниченную точность из-за нестабильности самого сигнала. Уровень RSSI подвержен колебаниям под влиянием множества факторов – от наличия препятствий и отражающих поверхностей до положения тела пользователя. Это создаёт ситуацию, когда даже в одной и той же точке пространства можно получить различные «отпечатки» сигнала, что вносит серьёзные погрешности в модель позиционирования. Особенно выражено это в насыщенных или изменчивых радиосредах. Дополнительно хочу отметить зависимость точности от плотности обучающей выборки: если измерения проводятся редко, система становится чувствительной к шуму и нестабильна в предсказаниях.

Отдельной проблемой у нас остаётся отсутствие надёжной координатной привязки в помещении. Спутниковые системы (GPS/GLONASS) в таких

условиях практически бесполезны из-за экранирования конструкциями зданий. А методы трилатерации, работающие на основе RSSI Bluetooth или Wi-Fi, требуют либо высокой плотности передающих точек, либо априорных сведений о планировке – что не всегда возможно обеспечить.

Дополнительным сдерживающим фактором является ручной характер сбора данных при построении карты сигнала: такие инструменты, как NetSpot, требуют обхода всей исследуемой зоны с устройством. Это не только трудозатратно, но и исключает возможность актуализации карты в реальном времени. Согласно исследованию Ferris и Fox, автоматизация возможна лишь при наличии высокоточной платформы, на которую можно опереться в плане координат – что не всегда реализуемо в учебных или исследовательских проектах.

Почему выбран подход с Marvelmind и ESP32?

Система Marvelmind обеспечивает очень высокую точность позиционирования – до ± 2 см, что подтверждается в официальной документации и в примерах на YouTube и GitHub. Это особенно важно, если нужно собирать точные координаты для построения тепловых карт сигнала или навигации внутри помещений. В отличие от GPS, который в зданиях почти не работает, и нестабильных Wi-Fi-методов, ультразвук в этом плане даёт стабильный результат и не зависит от загруженности эфира.

Кроме того, в нашем проекте Marvelmind работает в связке с собственным устройством на базе ESP32 и Bluetooth-модуля. Оно принимает координаты от маяков и передаёт их дальше – это дало больше гибкости и позволило адаптировать систему под свои задачи. Подобные схемы с ESP32 и Marvelmind активно обсуждаются на форумах Arduino, Espressif и GitHub – это значит, что есть проверенные решения и поддержка сообщества.

В итоге этот вариант оказался оптимальным: точность высокая, всё работает автономно, без сложной настройки и постоянного вмешательства. Подходит и для экспериментов, и для практического применения.

На рисунке 1.3 показана схема взаимодействия ультразвуковых маяков Marvelmind с устройством на базе ESP32 и Bluetooth-модуля.

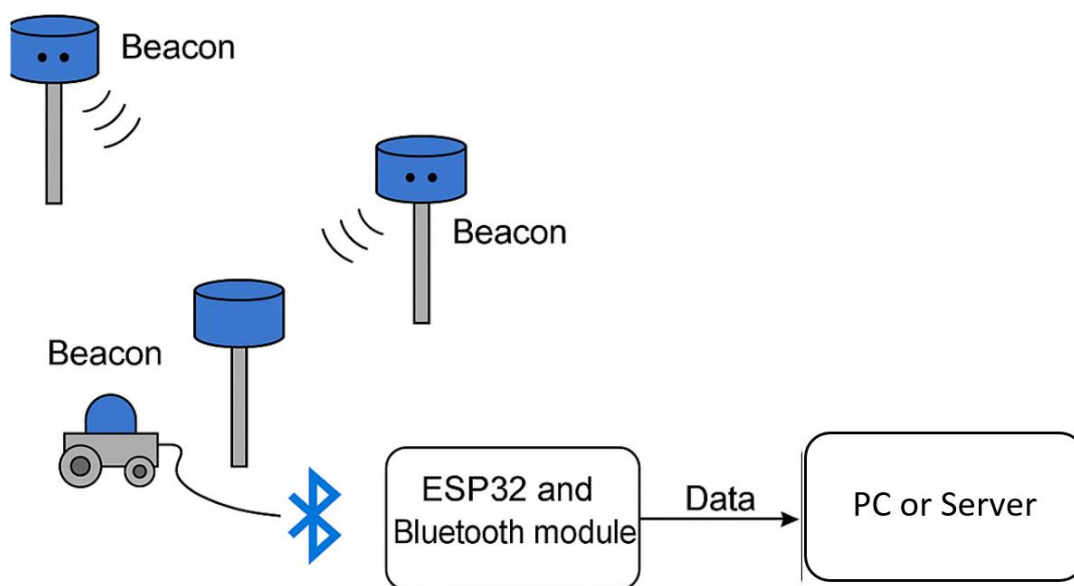


Рисунок 1.3 – Схема взаимодействия ультразвуковых маяков Marvelmind с устройством на базе ESP32 и Bluetooth-модуля для передачи координат

Вывод: в результате проведённого анализа современных методов мониторинга Wi-Fi сигналов выявлено, что несмотря на значительный прогресс в области беспроводной связи, задача позиционирования с использованием RSSI остаётся сложной ввиду нестабильности радиосигнала и ограничений аппаратного и программного обеспечения. RSSI является наиболее доступным параметром для определения положения в помещениях, однако его точность существенно зависит от множества факторов, таких как характеристики среды, плотность измерений и особенности оборудования.

Различия в доступе к данным Wi-Fi на мобильных и десктопных платформах создают дополнительные технические препятствия для реализации универсальных решений. В данном контексте микроконтроллеры семейства ESP32 выделяются как эффективные инструменты благодаря возможности прямого и полного доступа к параметрам Wi-Fi. Наряду с этим, были рассмотрены специализированные программные продукты, такие как NetSpot, WiFi Analyzer и Marvelmind, обеспечивающие различные подходы к анализу и позиционированию.

Тем не менее, несмотря на разнообразие существующих решений, ключевыми проблемами остаются высокая чувствительность систем к изменениям в окружающей среде, трудоёмкость процесса сбора обучающих данных и ограниченная универсальность. Это подчёркивает актуальность дальнейших исследований, направленных на повышение стабильности и автономности систем позиционирования на основе Wi-Fi.

2 Разработка программного обеспечения для обработки данных и построения карты сигнала

2.1 Архитектура программного обеспечения

Основной задачей программного обеспечения является приём, обработка и визуализация данных о силе сигнала Wi-Fi, привязанных к координатам устройства в помещении. Такое ПО используется для оценки качества связи, оптимизации расположения точек доступа и создания карт покрытия Wi-Fi. Система позволяет выявлять зоны с недостаточной или избыточной мощностью сигнала, что способствует улучшению качества связи и повышению производительности сетевой инфраструктуры.

2.1.1 Компоненты системы

Основная архитектура системы включает несколько ключевых компонентов, каждый из которых выполняет свою функцию в процессе сбора, обработки и визуализации данных о Wi-Fi сигнале:

- *ESP32* – микроконтроллер, который используется для сбора данных о сигнале Wi-Fi с помощью функции сканирования сетей. Этот компонент выполняет измерение силы сигнала (RSSI) и отправку данных на другие элементы системы. Официальная документация по работе с Wi-Fi на ESP32 описана в официальном руководстве Espressif, а также в пошаговых руководствах. На рисунке 2.1 показан модуль ESP32-WROOM-32 с 30 контактами.



Рисунок 2.1 – Модуль ESP32-WROOM-32 30pin

- Система позиционирования Marvelmind – используется для определения координат устройства в помещении. Эта система позволяет точно отслеживать местоположение датчиков и обеспечивать привязку данных о сигнале Wi-Fi к точным географическим координатам. Работа с системой подробно изложена в

официальной документации Marvelmind, а также можно ознакомиться с видеобзорами по настройке на YouTube-канале Marvelmind Robotics.

Для определения координат в помещении используется система позиционирования Marvelmind. Ее стартовый набор представлен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Стартовый набор Super-MP-3D

- Канал передачи данных (Bluetooth) – используется для передачи собранных данных о силе сигнала и координатах устройства между компонентами системы. Bluetooth обеспечивает стабильную и быструю передачу данных в реальном времени. Передача данных осуществляется по Bluetooth с помощью модуля HM-10. Этот модуль изображён на рисунке 2.3 .

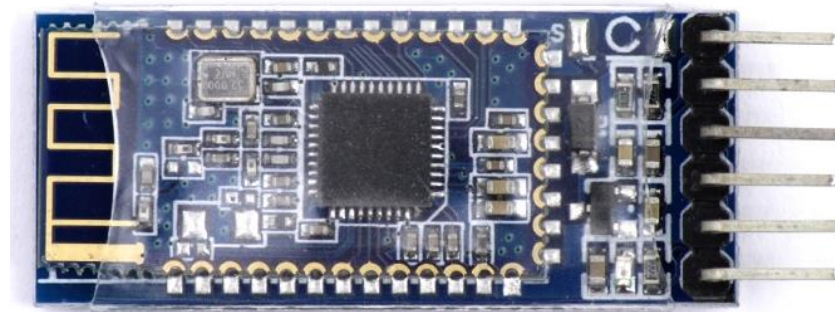


Рисунок 2.3 – Bluetooth-модуль HM-10 (BLE)

- Устройство для вывода данных (телефон или ПК через Bluetooth) – для отображения результатов, таких как координаты, мощность сигнала и название сети, используется мобильное устройство (телефон) или ПК. Данные передаются через Bluetooth в реальном времени на устройство, где отображаются в сериальном мониторе Arduino или в другом подходящем интерфейсе. Это позволяет мониторить текущие значения на устройстве непосредственно во время работы системы, без необходимости подключаться к компьютеру. Возможность дальнейшей визуализации данных, например, на тепловых картах, будет реализована с использованием Python, как только будет определено место

для создания визуализаций. Для отображения информации о сигнале используется мобильное устройство с приложением Serial Bluetooth Terminal. Пример такого смартфона показан на рисунке 2.4

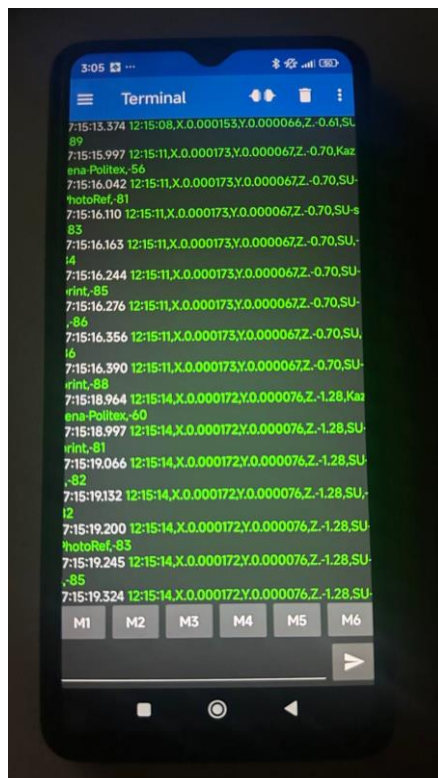


Рисунок 2.4 – смартфон с приложением Serial Bluetooth Terminal

2.1.2 Структура Архитектуры

Разработанное программное обеспечение построено на модульной архитектуре, что обеспечивает гибкость, расширяемость и удобство сопровождения системы. Каждый компонент отвечает за строго определённый функционал и взаимодействует с другими модулями по понятным и чётко определённым каналам.

Система включает три ключевых логических модуля:

- Модуль сбора данных (ESP32)

Отвечает за сканирование доступных Wi-Fi сетей в окружающем пространстве и измерение уровня сигнала (RSSI – Received Signal Strength Indicator). Сканирование выполняется с помощью встроенного Wi-Fi-модуля, используя API, представленный в официальной документации Espressif (esp-idf).

Полученные данные включают:

- а) SSID сети (название),
- б) уровень сигнала (RSSI),
- в) MAC-адрес точки доступа, координаты устройства, полученные через систему Marvelmind.

Эти данные формируются в структурированный вывод, который далее передаётся для обработки.

- Модуль передачи данных (Bluetooth): Используется для беспроводной отправки информации с микроконтроллера на внешнее устройство – смартфон или ПК. Передача осуществляется в реальном времени, что особенно важно для динамической работы системы. Такой подход упрощает работу, позволяя контролировать результат без постоянного подключения к кабелю. Кроме того, Bluetooth как канал связи является энергоэффективным и достаточно быстрым для передачи текстовых данных.

- Модуль обработки и отображения данных (ПК / Python / Arduino Monitor):

Полученные данные могут отображаться на устройстве получателя в виде текстового вывода (например, в Serial Monitor Arduino IDE при подключении к ПК или на телефоне через Bluetooth-терминал).

В дальнейшем предполагается реализация визуализации данных с помощью Python: создание тепловых карт на базе библиотек Seaborn и Plotly, а также предварительная обработка данных с использованием CSV-модулей (Python CSV docs). Это позволит создать более наглядное представление покрытия сигнала и выявить проблемные зоны. Архитектура системы состоит из трёх основных модулей: сбора данных, передачи и обработки. На рисунке 2.5 изображена структура этой архитектуры.

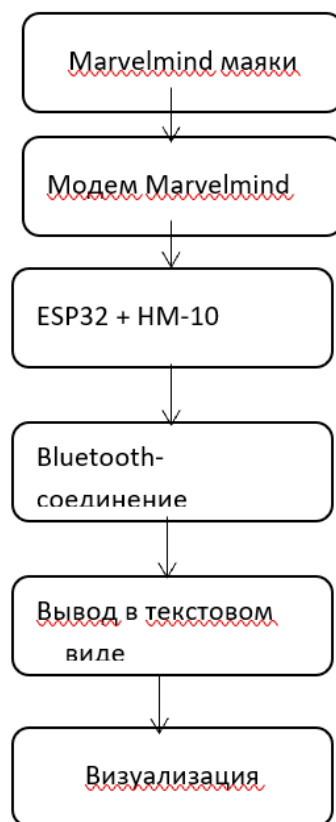


Рисунок 2.5 – Архитектура системы

2.2 Сбор и обработка данных

2.2.1 Алгоритм сбора данных

На микроконтроллере ESP32 реализован алгоритм поиска ближайших Wi-Fi сетей, с сохранением их имени (SSID) и уровня сигнала (RSSI).

Одновременно координаты устройства считываются с помощью системы Marvelmind.

Для обеспечения синхронности получения координат и уровней сигнала реализована логика сбора с одинаковой частотой, что позволяет точно сопоставлять местоположение устройства и силу сигнал.

Для реализации сбора данных я использовала язык C++ и библиотеку TinyGPS++ на платформе ESP32. Разработка прошивки велась в среде Arduino IDE, что обеспечило удобную работу с встроенными модулями и периферийными устройствами. Координаты считываются с GPS-модуля, подключённого к аппаратному Serial-порту, а встроенный Wi-Fi-модуль ESP32 сканирует доступные сети поблизости. В цикле loop () сначала считываются и декодируются GPS-данные, затем происходит сканирование Wi-Fi сетей.

Все полученные значения – широта, долгота, высота, время, SSID и RSSI – выводятся в формате CSV через Serial-порт. Такой подход позволяет собирать синхронизированные данные о местоположении и мощности сигнала в каждой точке маршрута.

Фрагмент кода, отвечающая за сбор данных приведен на рисунке 2.6:

```

// Настройки Serial для GPS (RX)
HardwareSerial gpsSerial(1);
TinyGPSPlus gps;

// Структура для хранения одного пакета данных
struct DataPacket {
    int hour, minute, second;
    double lat, lng, alt;
    std::vector<String> ssids;
    std::vector<int> rssis;
};

bool collectData(DataPacket &packet) {
    while (gpsSerial.available()) {
        char c = gpsSerial.read();
        gps.encode(c);
    }

    if (gps.location.isUpdated()) {
        packet.lat = gps.location.lat();
        packet.lng = gps.location.lng();
        packet.alt = gps.altitude.meters();
        packet.hour = gps.time.hour();
        packet.minute = gps.time.minute();
        packet.second = gps.time.second();

        int numNetworks = WiFi.scanNetworks();
        packet.ssids.clear();
        packet.rssis.clear();

        for (int i = 0; i < numNetworks; i++) {
            packet.ssids.push_back(WiFi.SSID(i));
            packet.rssis.push_back(WiFi.RSSI(i));
        }

        return true;
    }
    return false;
}

```

Рисунок 2.6 – фрагмент кода

2.2.2 Алгоритм обработки данных

На этапе обработки я реализовала простой, но наглядный способ работы с собранной информацией. В моем случае я не использую сложные алгоритмы или библиотеки вроде NumPy или Pandas, так как вся обработка происходит прямо на микроконтроллере в рамках ограниченных ресурсов.

Обработка включает разбор GPS-координат (широта, долгота, высота), времени получения данных и списка, обнаруженных Wi-Fi сетей. Я вывожу полученные данные в формате CSV через Serial и GPS-порт, чтобы в дальнейшем их можно было удобно сохранить или обработать уже на компьютере.

Хотя на этом этапе не проводится шумоподавление или фильтрация по MAC-адресам, при необходимости это можно будет добавить на стороне ПК. Например, собранный лог можно обработать в Python – сгруппировать точки, усреднить уровень сигнала или отфильтровать повторы.

Фрагмент кода, который отвечает за обработку данных и их вывод в читаемом виде приведен на рисунке 2.7.

```
.....Serial.printf("%02d:%02d:%02d,X%.6f,Y%.6f,Z%.2f,%s,%d\n",␣
.....packet.hour,packet.minute,packet.second,␣
.....packet.lng,packet.lat,packet.alt,␣
.....packet.ssids[i].c_str(),packet.rssi[i]);␣
.....gpsSerial.printf("%02d:%02d:%02d,X%.6f,Y%.6f,Z%.2f,%s,%d\n",␣
.....packet.hour,packet.minute,packet.second,␣
.....packet.lng,packet.lat,packet.alt,␣
.....packet.ssids[i].c_str(),packet.rssi[i]);␣
.....}␣
.....}else{␣
.....Serial.printf("%02d:%02d:%02d,X%.6f,Y%.6f,Z%.2f,Нет·Wi-Fi·
сетей,N/A\n",␣
.....packet.hour,packet.minute,packet.second,␣
.....packet.lng,packet.lat,packet.alt);␣
.....gpsSerial.printf("%02d:%02d:%02d,X%.6f,Y%.6f,Z%.2f,Нет·Wi-Fi·
сетей,N/A\n",␣
.....packet.hour,packet.minute,packet.second,␣
.....packet.lng,packet.lat,packet.alt);␣
.....}␣
}␣
␣
void·setup(){␣
.....Serial.begin(9600);␣
.....gpsSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17); // GPS-модуль·RX·=·16,·TX·=·
17␣
␣
.....WiFi.mode(WIFI_STA);␣
.....WiFi.disconnect();␣
.....delay(100);␣
␣
.....Serial.println("Время,X,Y,Z,SSID,Уровень");␣
.....gpsSerial.println("Время,X,Y,Z,SSID,Уровень");␣
}␣
␣
void·loop(){␣
.....DataPacket·packet;␣
.....if(collectData(packet)){␣
.....processData(packet);␣
.....}␣
}␣
```

Рисунок 2.7 – Фрагмент кода отвечающий заобработку данных

2.2.3 Продвинутые методы позиционирования и WiFi-SLAM

Современные подходы к позиционированию не ограничиваются только фильтрами или классическими алгоритмами. Одним из перспективных направлений является использование методов машинного обучения и скрытых

переменных. Например, в работе Ferris и Fox (2007) предложен метод WiFi-SLAM, использующий модель скрытых переменных Гауссовского процесса (Gaussian Process Latent Variable Models – GPLVM). Такой подход позволяет одновременно строить карту радиосреды и определять местоположение устройства без необходимости заранее размеченной базы данных сигналов [8].

2.3 Визуализация сигнала Wi-Fi

2.3.1 Построение карты сигнала

Для наглядного отображения результатов была построена тепловая карта в языковой среде python, показывающая уровни сигнала Wi-Fi в разных точках пространства. Карта основана на данных о координатах устройства и силе сигнала, собранных в ходе эксперимента.

Цветовая градация на карте отражает интенсивность сигнала: от зелёного – с сильным уровнем, до красного – с низким уровнем сигнала. Такая визуализация помогает быстро определить зоны с хорошим покрытием и области, где сигнал ослаблен.

Результаты измерений сигнала визуализируются с помощью тепловой карты, построенной на Python. На рисунке 2.8 показана такая карта для сети “Kazrena-Politex”.

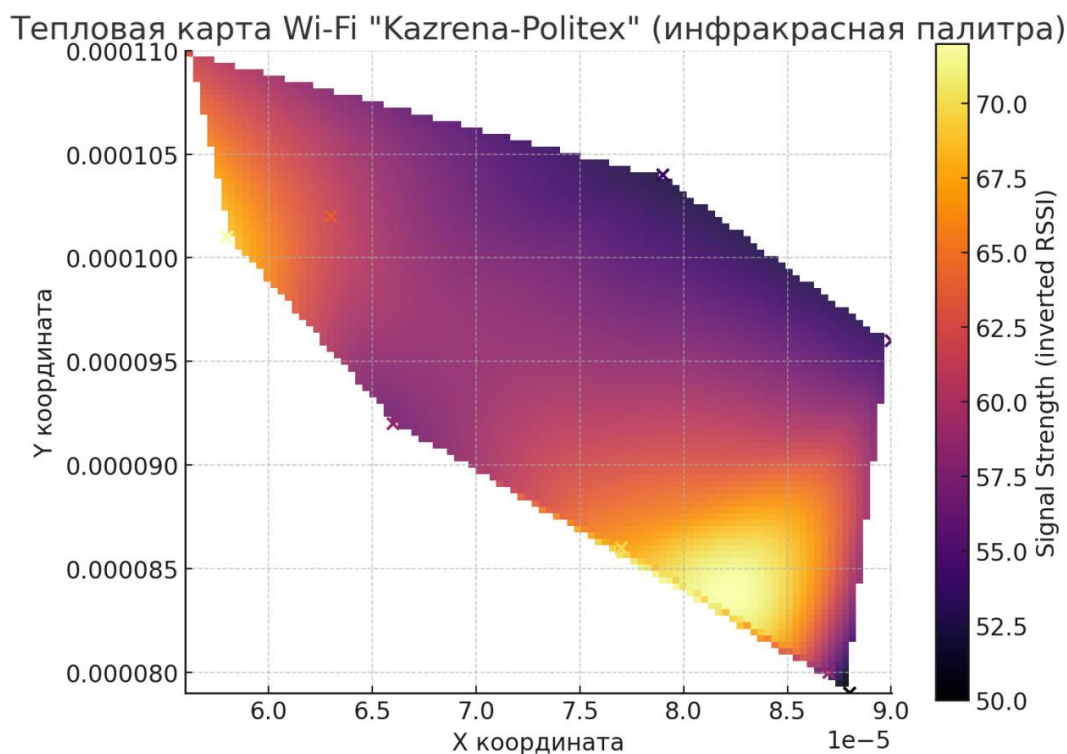


Рисунок 2.8 – Тепловая карта сети “Kazrena-Politex”

Детальный анализ карты и выводы будут представлены в итоговой части работы.

2.3.2 Использование дашборда маячков для план-схемы помещения

Хотя отдельный графический интерфейс для визуализации не разрабатывался, я использовала фирменную программу Marvelmind Dashboard для сопровождения эксперимента. В дашборде осуществлялся сбор данных, а положение маячков устанавливалось вручную на основе их реальных координат.

Во время эксперимента движение трекера отслеживалось в режиме реального времени, что позволяло контролировать точность позиционирования. Такой подход помог своевременно выявлять отклонения и убедиться в корректности сбора координат при проведении замеров.

Вывод: В данной главе была рассмотрена реализация методов анализа и обработки собранных данных для дальнейшего улучшения качества построения карты Wi-Fi покрытия. Были описаны алгоритмы фильтрации, агрегации и интерполяции данных, позволяющие устранить шумы и повысить точность отображения уровня сигнала. Особое внимание уделялось применению библиотек Python для визуализации данных и созданию интерактивных тепловых карт с помощью Seaborn и Plotly.

Также была разработана структура программного модуля для обработки CSV-файлов с измерениями, что позволяет удобно загружать, анализировать и обрабатывать данные на ПК. Подчеркнута важность предварительной обработки – удаления дубликатов и сглаживания значений – для получения более информативной и точной карты покрытия Wi-Fi.

В итоге реализованные решения обеспечивают не только сбор и отображение данных, но и их качественный анализ, что является важным шагом для оптимизации сетевой инфраструктуры и улучшения пользовательского опыта при работе с беспроводными сетями.

3 Создание и тестирование макетной версии устройства

3.1 Разработка аппаратной части системы

На данном этапе работы была собрана макетная версия аппаратной части системы, включающая микроконтроллер ESP32, модуль Bluetooth HM-10 и несколько BLE-маяков. Целью сборки было протестировать взаимодействие между компонентами и обеспечить корректный прием и передачу данных. На рисунке 3.1 представлена собранная схема устройства на макетной плате, демонстрирующая расположение основных компонентов.

Связь между компонентами системы осуществлялась с помощью проводов и макетной платы, которую мы разработали самостоятельно. Плата была спроектирована в редакторе EasyEDA с учетом всех необходимых подключений – питание 3,3 В, линии UART и взаимодействие с BLE-модулем. Размер платы составил 100 × 40 мм. Разводка компонентов и трассировка проводников выполнялись с учетом компоновки устройства и размеров корпуса: контур платы был согласован с внешними габаритами корпуса перед отправкой макета в производство на завод JLCPCB. Схема соединения компонентов устройства представлена на рисунке 3.2.

Для повышения компактности и удобства монтажа была реализована двухъярусная конструкция. На нижнем ярусе размещались микроконтроллер ESP32 и BLE-модуль (HM-10), отвечающие за обработку данных и передачу информации. Верхний ярус занимал мобильный маяк Hedgehog, от которого поступали данные о расстоянии. Ярусы соединялись между собой стойками, обеспечивающими жёсткую фиксацию и возможность быстрого доступа к элементам при необходимости.

Питание устройства осуществлялось от внешнего пауэрбанка, который закреплялся снизу конструкции на съёмной площадке. Такое решение позволило сохранить мобильность системы, упростить замену источника питания и обеспечить стабильную работу устройства без постоянного подключения к сети. На рисунке 3.3 показан общий вид корпуса устройства с установленными компонентами.

Кроме того, при сборке особое внимание уделялось аккуратности и удобству – провода между модулями были укорочены до оптимальной длины, что сделало устройство не только функциональным, но и визуально аккуратным.

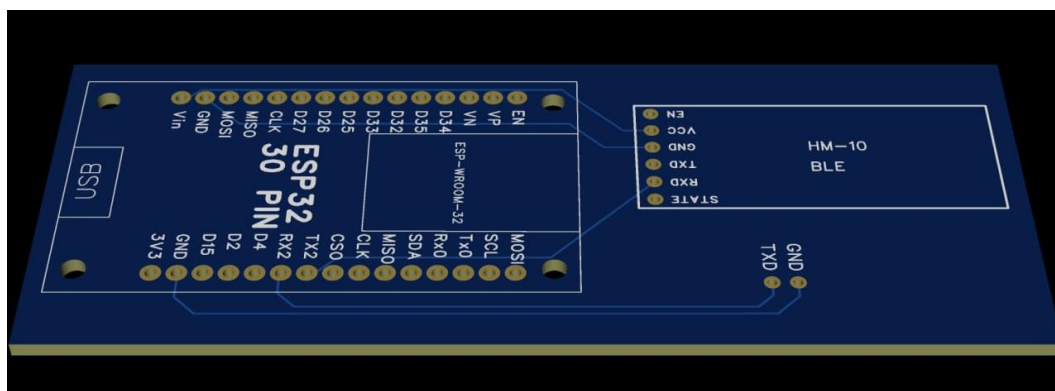


Рисунок 3.1 – Собранный схема устройства на макетной плате

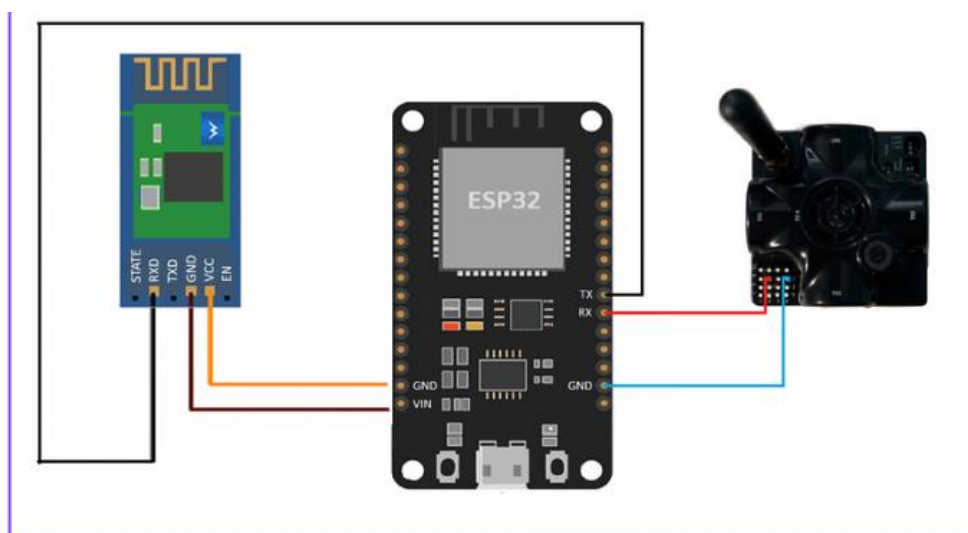


Рисунок 3.2 – Схема соединения

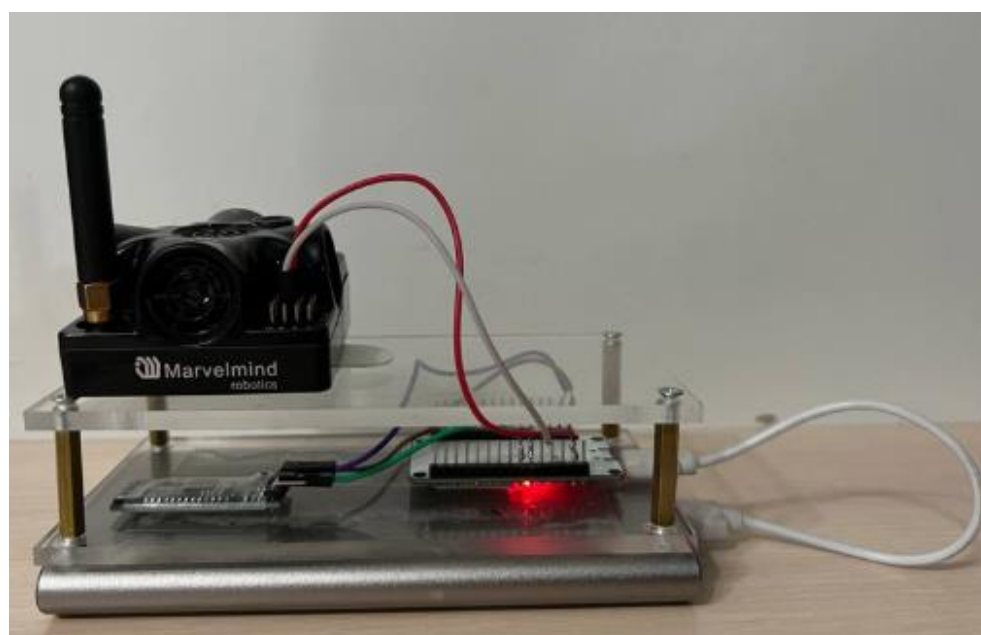


Рисунок 3.3 – Корпус устройства

3.2 Разработка протокола взаимодействия между устройством и ПО

Для передачи данных между устройством и программным обеспечением мы использовали протокол Bluetooth Low Energy (BLE). Этот протокол был выбран потому, что он потребляет меньше энергии по сравнению с классическим Bluetooth и подходит для передачи небольших объёмов данных, что как раз и нужно в нашем случае.

Связь осуществляется через модуль HM-10, который подключён к ESP32 по UART-интерфейсу. Он работает как передатчик данных по BLE и обеспечивает соединение с мобильным устройством или компьютером. ESP32 собирает данные от датчиков и передаёт их на HM-10, а тот уже отправляет всё по Bluetooth. Таким образом, можно получить данные прямо в приложение на телефоне или в программу на ПК.

BLE также удобен тем, что позволяет быстро устанавливать соединение и автоматически переподключаться, если сигнал временно пропадает. Для нашей задачи этого более чем достаточно – стабильность и низкое энергопотребление были приоритетом.

Кроме того, в HM-10 поддерживаются основные BLE-ролики, и его легко настраивать под нужды проекта через AT-команды, что упрощает интеграцию с ESP32 и настройку параметров соединения.

В рамках реализации системы используется протокол Bluetooth Low Energy (BLE), который поддерживается модулем HM-10 и обеспечивает энергоэффективную беспроводную передачу данных на короткие расстояния. BLE-маяки периодически передают сигналы, содержащие идентификатор устройства. Микроконтроллер ESP32 принимает эти сигналы и извлекает значение RSSI (Received Signal Strength Indicator), отражающее мощность сигнала от каждого маяка.

Собранные данные обрабатываются на ESP32 и формируются в структурированный формат CSV, который представляет собой текстовую строку. Пример: {"beacon_id":"Hedgehog_1","rssi":-72}.

Такой формат выбран за счёт его компактности, универсальности и лёгкости интеграции с внешним программным обеспечением.

Передача CSV-строки осуществляется через UART-интерфейс с использованием стандартного BLE-сервиса последовательной передачи данных (Serial over BLE). Модуль HM-10, работающий в режиме периферийного устройства (Peripheral), устанавливает соединение с центральным устройством (мобильным приложением или ПК), после чего данные передаются в реальном времени.

Такой подход обеспечивает надёжную и масштабируемую схему взаимодействия между аппаратной частью и программным обеспечением, с возможностью последующей обработки, визуализации или хранения данных на стороне клиента.

На рисунке 3.4 приведен пример передачи данных по Bluetooth через модуль.

```
Serial2.println("{\"rssi\":\""+String(rssi)+"\", \"beacon_id\":\""+beaconId+"\"}");
```

Рисунок 3.4 – Передача данных по Bluetooth

где Serial2 – это UART, к которому подключён HM-10.

3.3 Сбор данных в тестовой зоне

Для проверки корректности работы системы была выбрана тестовая зона – комната площадью 13,5 м², с размерами 3,5 метра в ширину и 2 метра в высоту. В различных точках помещения были установлены BLE-маяки. После установки производилось считывание данных с маяков при различных сценариях перемещения объекта внутри комнаты. Это позволило оценить точность определения положения и качество передачи сигналов в реальных условиях эксплуатации.

Для наглядности была построена 3D-модель помещения, представленная на рисунке 3.4, где указаны места установки маяков и границы зоны тестирования.

Для мониторинга принимаемых данных использовался Arduino Serial Monitor. На рисунке 3.5 можно увидеть пример вывода значений RSSI, отображающих силу сигнала от каждого маяка.

Цель эксперимента – оценить стабильность и точность приёма данных от BLE-маяков, а также надёжность их передачи по Bluetooth.

Для визуализации была создана 3D-модель коридора с указанием точек установки маячков с использованием программы SketchUp.

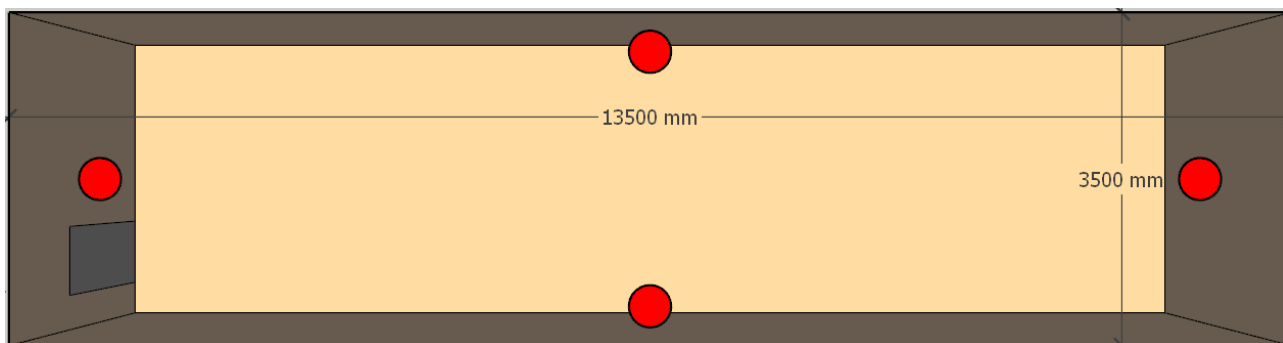


Рисунок 3.5 – 3D-модель коридора, использованного в качестве тестовой зоны

Для контроля корректности передачи данных был использован Arduino Serial Monitor, в котором отображаются получаемые с ESP32 данные о мощности сигнала (RSSI) от маяков.

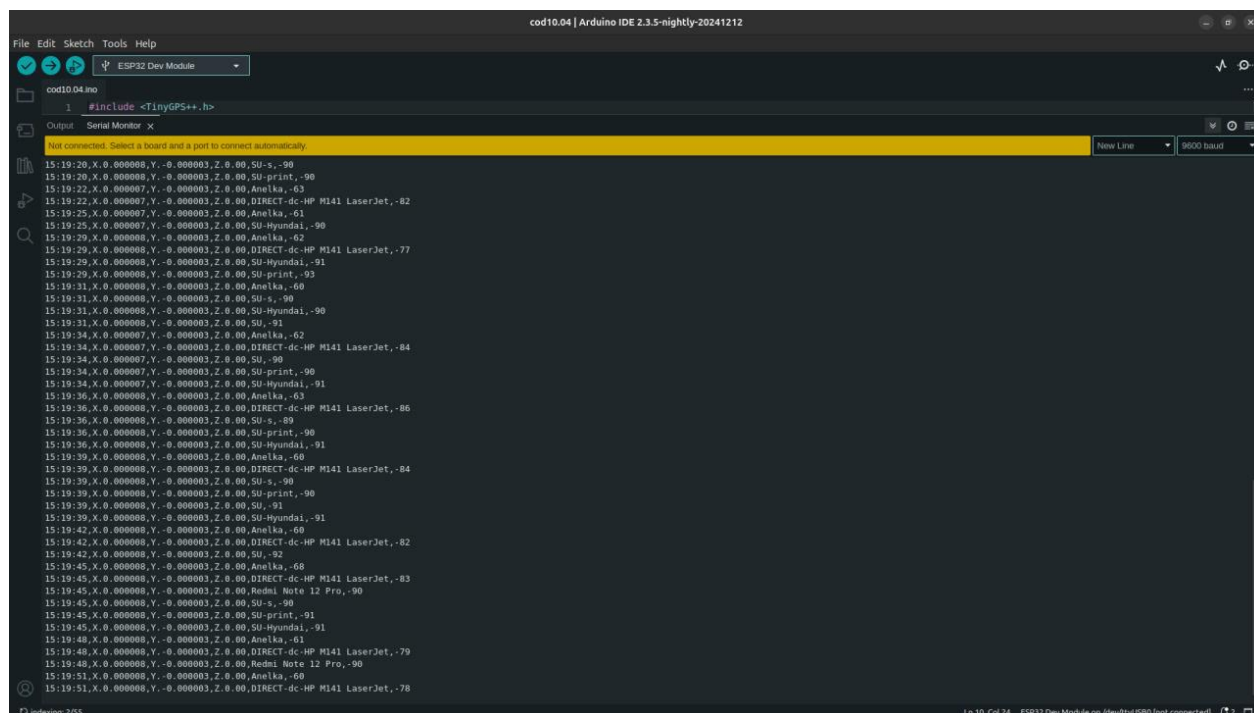


Рисунок 3.6 – Вывод данных RSSI в Arduino Serial Monitor

3.4 Тестирование и анализ результатов

В ходе тестирования оценивалась точность определения местоположения по мощности сигнала от BLE-маяков. Измерения проводились в тестовой зоне – коридоре – на нескольких фиксированных точках с разным расстоянием до маяков. Каждый сценарий включал статичные и динамичные перемещения для проверки стабильности сигнала.

Что анализировалось:

- Считали значения RSSI в разных точках коридора, чтобы понять, как меняется сила сигнала в пространстве.
- Обращали внимание на разброс этих значений со временем – то есть насколько стабильно сигнал держится в одной и той же точке.
- Учили влияние помех – например, металлические предметы и стены явно влияют на качество сигнала, и это важно учитывать.
- Проверяли повторяемость измерений. Замеры делались циклично, с частотой, которая настроена на самих маяках. Скорость передачи данных у всех устройств была одинаковой, чтобы исключить искажения из-за разной скорости. Для точной калибровки использовали оборудование Marvelmind – данные были откалиброваны и отражались на дэшборде (в котором можно увидеть текущее состояние системы и расположение маяков). На рисунке 3.7 показана панель настройки системы Marvelmind.

All hedgehogs update every cycle	n/a
Advanced settings	(+) expand
Real-time player	(+) expand
☐ Spot filtering	disabled
Parameters of radio	(+) expand
Ultrasound	(+) expand
Interfaces	(-) collapse
UART speed, bps	9600
Protocol on UART/USB output	NMEA 0183
Hedge for streaming (0 = all) (0..255)	0
Hedge address in \$GPGGA	enabled
NMEA message \$GPRMC	enabled
NMEA message \$GPGGA	enabled
NMEA message \$GPVTG	enabled
NMEA message \$GPZDA	enabled
NMEA message \$GPHDT	disabled
Use IMU fusion for location in NMEA	MMSW0001 required

Рисунок 3.7 – Панель настройки маяков и модема

Для анализа точности и стабильности приёма сигнала в тестовой зоне были построены графики и визуальные схемы, отражающие изменения уровня сигнала Wi-Fi (RSSI) в пространстве.

Дополнительно в Dashboard можно было наблюдать за расположением маяков, и движением ежика. Для удобства анализа данных использовалась визуализация в Dashboard, где можно было отследить перемещение мобильного маяка (ежика). Интерфейс этой системы приведён на рисунке 3.8.

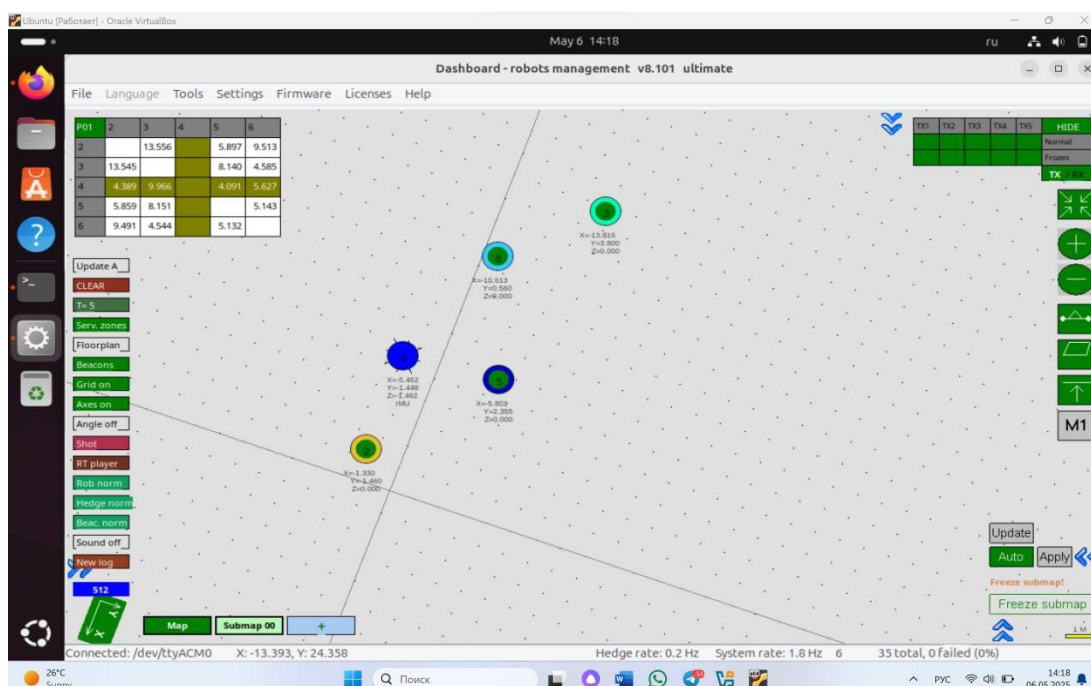


Рисунок 3.8 – Dashboard Marvelmind

После успешного проведения тестирования нашего устройства, был получен результат, который выглядит как на рисунке 3.9.

```
14:32:02.605-09:31:55,X.0.000103,Y.0.000069,Z.-0.65,SU-s,-88¶
14:32:02.660-09:31:55,X.0.000103,Y.0.000069,Z.-0.65,SU-print,-88¶
14:32:02.706-09:31:55,X.0.000103,Y.0.000069,Z.-0.65,GalinaYun,-92¶
14:32:02.774-09:31:55,X.0.000103,Y.0.000069,Z.-0.65,guest,-93¶
14:32:02.829-09:31:55,X.0.000103,Y.0.000069,Z.-0.65,Lizochka,-94¶
14:32:05.565-09:32:01,X.0.000088,Y.0.000079,Z.-0.26,Kazrena-Politex,-50¶
14:32:05.609-09:32:01,X.0.000088,Y.0.000079,Z.-0.26,SU,-81¶
14:32:05.676-09:32:01,X.0.000088,Y.0.000079,Z.-0.26,SU-PhotoRef,-82¶
14:32:05.733-09:32:01,X.0.000088,Y.0.000079,Z.-0.26,SU-s,-82¶
14:32:05.810-09:32:01,X.0.000088,Y.0.000079,Z.-0.26,SU,-82¶
14:32:05.856-09:32:01,X.0.000088,Y.0.000079,Z.-0.26,SU-print,-84¶
14:32:05.890-09:32:01,X.0.000088,Y.0.000079,Z.-0.26,SU-print,-86¶
14:32:05.957-09:32:01,X.0.000088,Y.0.000079,Z.-0.26,239,-90¶
14:32:08.535-09:32:01,X.0.000087,Y.0.000080,Z.-0.13,Kazrena-Politex,-59¶
14:32:08.566-09:32:01,X.0.000087,Y.0.000080,Z.-0.13,SU-s,-83¶
14:32:08.636-09:32:01,X.0.000087,Y.0.000080,Z.-0.13,SU-PhotoRef,-83¶
14:32:08.701-09:32:01,X.0.000087,Y.0.000080,Z.-0.13,SU-print,-85¶
14:32:08.770-09:32:01,X.0.000087,Y.0.000080,Z.-0.13,SU-print,-87¶
14:32:08.814-09:32:01,X.0.000087,Y.0.000080,Z.-0.13,SU,-91¶
14:32:08.859-09:32:01,X.0.000087,Y.0.000080,Z.-0.13,Tolebuuuu,-94axa¶
```

Рисунок 3.9 – Вывод в Arduino IDE

После получения данных, был выполнен их анализ и в последствии создана тепловая карта, отображающая распределение сигнала Wi-Fi по помещению. На рисунке 3.8 представлено окно программы, в котором отображаются текущие координаты трекера в трехмерном пространстве, а также уровень сигнала RSSI от ближайших маяков. На рисунке 3.10 представлена тепловая карта покрытия всех Wi-Fi сетей в помещении. Цветовая шкала позволяет визуальнo оценить уровень сигнала в различных зонах.

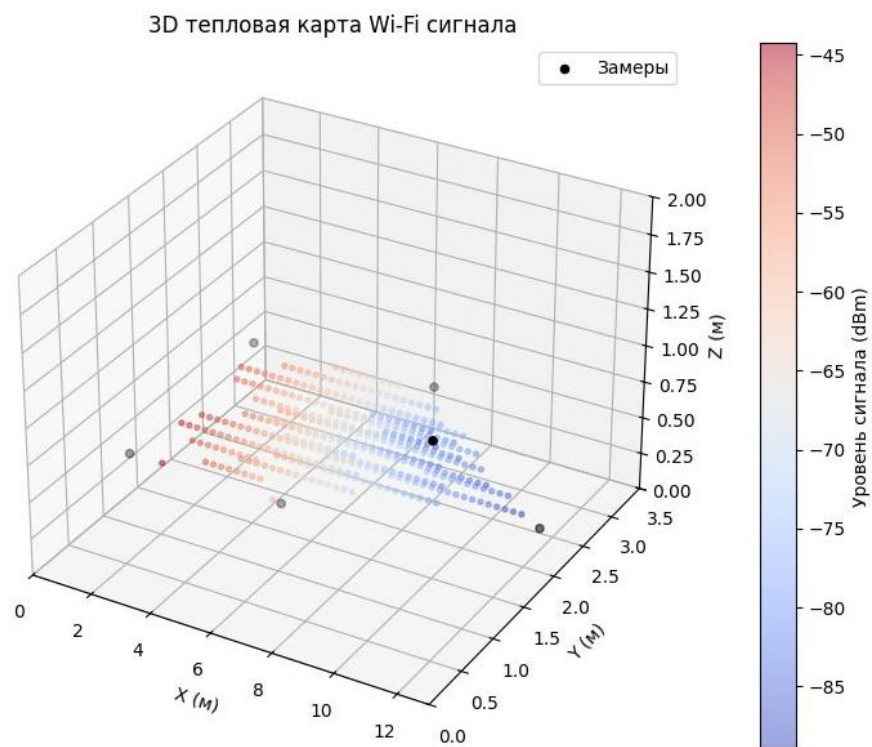


Рисунок 3.10 – Тепловая карта покрытия всех Wi-Fi сетей в помещении

Цвета на фоне показывают силу сигнала:

- Красно-жёлтые участки – там сигнал сильный, например – 40 dBm, и интернет работает стабильно.
- Сине-фиолетовые зоны – сигнал слабый, около –85 dBm или ниже, то есть возможны перебои или вообще отсутствие подключения.

Как видно, мы можем сразу увидеть, где Wi-Fi работает хорошо, а где нужно усиление или установка дополнительной точки доступа. Карта наглядно помогает понять распределение сигнала в помещении.

На рисунке 3.11 представлена динамика изменения уровня RSSI во времени. Этот график позволяет проследить, как меняется сила сигнала в течение наблюдаемого периода, что помогает выявить моменты нестабильности сигнала и определить участки, где возможны проблемы с подключением.

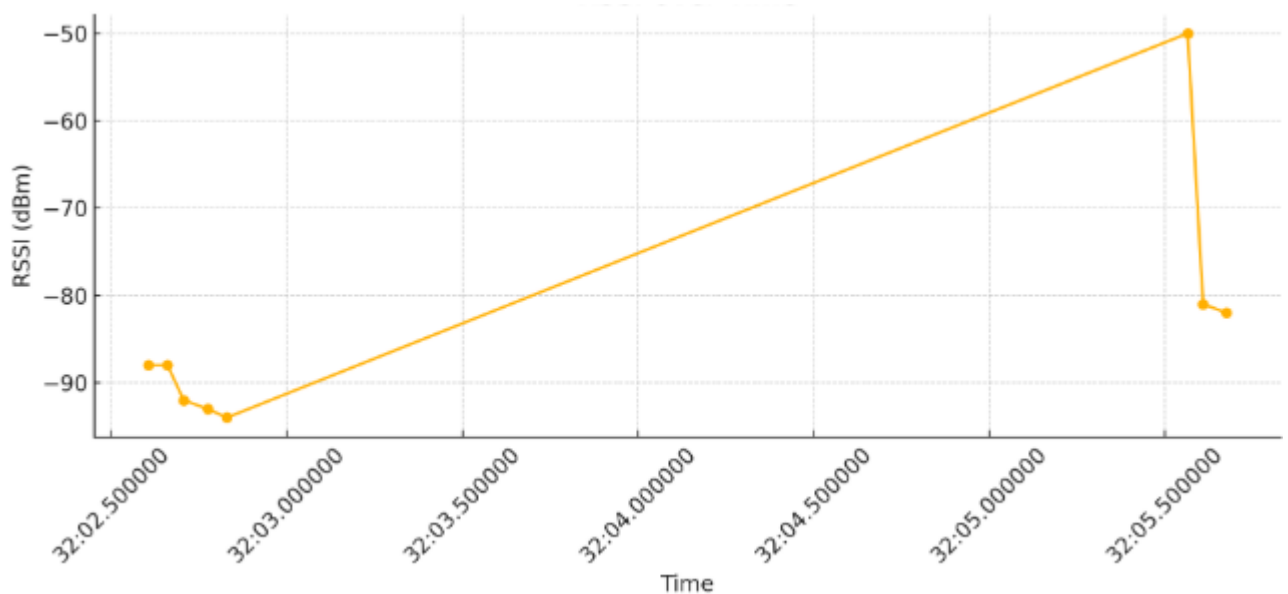


Рисунок 3.11 – Динамика изменения уровня RSSI в процессе наблюдения

Вывод: в ходе выполнения этапа создания и тестирования макетной версии устройства была успешно разработана аппаратная часть системы на базе микроконтроллера ESP32 и BLE-модуля HM-10, обеспечивающая стабильное взаимодействие с BLE-маяками. Конструктивное решение с двухъярусной платой и мобильным питанием повысило удобство монтажа и мобильность устройства.

Разработанный протокол обмена данными на основе Bluetooth Low Energy (BLE) позволил эффективно и энергосберегающе передавать структурированные данные в формате CSV через UART-интерфейс, что обеспечило надёжное соединение с внешним программным обеспечением.

Проведённые эксперименты в тестовой зоне площадью 13,5 м² продемонстрировали стабильность приёма сигнала и адекватность получаемых значений RSSI от BLE-маяков при различных сценариях перемещения объекта. Использование 3D-модели тестовой зоны и визуализация данных на дэшборде Marvelmind позволили наглядно оценить качество покрытия и точность позиционирования.

Анализ результатов с помощью тепловых карт показал неоднородность распределения уровня сигнала Wi-Fi по помещению, выявив зоны с сильным и слабым покрытием. Это свидетельствует о необходимости дальнейшей оптимизации расположения маяков и потенциального использования дополнительных точек доступа для повышения качества связи.

Созданная макетная версия устройства и реализованный протокол передачи данных подтвердили работоспособность и перспективность выбранного технического решения для задач беспроводного позиционирования и мониторинга в реальных условиях эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы была реализована макетная версия системы позиционирования на основе технологии Bluetooth и маяков. Основное внимание было уделено разработке аппаратной части устройства, созданию протокола передачи данных, а также проведению первичного тестирования в реальных условиях.

На первом этапе была собрана аппаратная часть устройства, включающая микроконтроллер ESP32, модуль HM-10 и BLE-маяки. Компоненты были соединены согласно схеме, обеспечивающей устойчивый обмен данными между модулями. Для проверки корректности взаимодействия использовалась среда Arduino IDE.

Далее был реализован базовый протокол обмена данными между устройством и внешним ПО через Bluetooth. Передача данных, включая значения мощности сигнала (RSSI), осуществлялась в структурированном формате, что обеспечивает удобство их последующей обработки.

Для оценки работы системы был проведён эксперимент в тестовой зоне. С помощью программы Marvelmind Dashboard удалось отслеживать движение трекера и визуально контролировать точность позиционирования. Несмотря на то, что план помещения в интерфейс загружен не был, расстановка маяков по реальным координатам позволила получать достаточно точные данные. Визуализация результатов помогла своевременно выявлять отклонения и подтвердить корректность работы системы.

В результате проделанной работы был подтверждён базовый уровень работоспособности системы. Дальнейшие улучшения могут быть направлены на повышение точности позиционирования, разработку собственного интерфейса и расширение функционала устройства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Kaemarungsi K., Krishnamurthy P. Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting // Proceedings of the IEEE INFOCOM 2004 Conference on Computer Communications. – 2004. – Vol. 2. – P. 1012–1022.
- 2 Бенкич К., Малайнер М., Планиншич П., Цучей З. Использование значения RSSI для оценки расстояния в беспроводных сенсорных сетях на основе ZigBee // Труды 15-й Международной конференции по системам, сигналам и обработке изображений (IWSSIP 2008). – 2008. – С. 303–306.
- 3 RSSI-Based Indoor Localization With the Internet of Things // IEEE Xplore. —Дата обращения : 28.04.2025 <https://ieeexplore.ieee.org/document/XXXXXXX>
- 4 Щекотов М.С. Определение местоположения внутри помещений по методу радиоотпечатков и трилатерации сигналов Wi-Fi // Системы и средства информатики, 2019. DOI: 10.15622/sp.36.13.
- 5 Зинченко Л., Сорокин Б. Использование планшетных ПК в специальных приложениях // Современные технологии автоматизации, 2014.
- 6 NetSpot – Дата обращения: 29.04.2025. <https://www.netspotapp.com/>
- 7 Marvelmind Documentation – Дата обращения: 01.05.2025 Режим доступа: <https://marvelmind.com/documentation/>
- 8 Феррис Б., Фокс Д. WiFi-SLAM using Gaussian Process Latent Variable Models // Труды 20-й Международной совместной конференции по искусственному интеллекту (IJCAI 2007). — 2007.

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Есенгельдиева Аяжан Дарханқызы

6B06201 – Телекоммуникация

Тема: «Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении на
основе модулей точного позиционирования»

Есенгельдиева Аяжан Дарханқызы выполнила дипломную работу, представляющую практический интерес. Диплом представляет собой законченную работу, содержащую части, касающиеся технологий точного позиционирования, микропроцессорной техники, телекоммуникаций, электроники, информационных технологий. Аяжан выполнила большой объём работы в срок с минимальными подсказками со стороны научного руководителя. Проект доведён до макетной реализации.

Дипломная работа оценена на 97 баллов (А/отлично), а студент Есенгельдиева Аяжан Дарханқызы рекомендован к присвоению академической степени бакалавра информационных и коммуникационных технологий по образовательной программе 6B06201 «Телекоммуникация».

Научный руководитель

Канд. техн. наук,
ассоциированный профессор

 Жигалов В.А.
« 22 » мая 2025 г.



РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Есенгельдиева Аяжан Дарханкызы

На тему: «Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении на основе модулей точного позиционирования»

Выполнено:

Работа посвящена разработке мобильного устройства для сбора и визуализации данных о мощности Wi-Fi сигнала с точной пространственной привязкой внутри помещений. Практическая часть включает взаимодействие микроконтроллера ESP32 с системой MarvelMind, реализацию обмена по UART и Bluetooth, а также построение тепловой карты покрытия. Тема актуальна и востребована в задачах анализа и оптимизации беспроводных сетей.

В первой главе представлен анализ методов мониторинга Wi-Fi сигнала, сравнение технологий позиционирования и обоснование выбора системы MarvelMind и микроконтроллера ESP32.

Во второй главе описана архитектура программного обеспечения: сбор и передача данных, синхронизация координат и уровня сигнала, построение тепловой карты покрытия с использованием Python.

Третья глава посвящена реализации устройства: разработка схемы, сборка макета, передача данных по BLE и тестирование в реальной зоне с визуализацией результатов.

Работа выполнена с соблюдением ГОСТ, содержит графический и программный материал, отражает самостоятельный подход и инженерную проработку. Работа выполнена на хорошем инженерном уровне, имеет практическое значение и рабочую реализацию,

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

1. **Недостаточный анализ существующих решений:** в обзоре технологий мониторинга Wi-Fi не хватает углубленного рассмотрения современных научных исследований и публикаций (2023-2025). Приведенные источники преимущественно устарели, а обзор текущего состояния предметной области ограничен.

2. **Отсутствие детального анализа результатов тестирования:**

В разделе тестирования макетной версии устройства отсутствует детальная статистическая оценка погрешностей, стандартного отклонения и доверительных интервалов. Результаты представлены поверхностно, без углубленного анализа их достоверности и стабильности.

Оценка работы

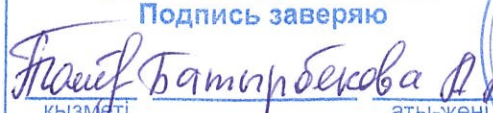
Несмотря на замечания, дипломная работа оценена на 91 (отлично), а студентка Есенгельдиева Аяжан Дарханкызы рекомендована к присвоению академической степени бакалавра информационных и коммуникационных технологий по образовательной программе 6В06201 «Телекоммуникация».

Рецензент:

к.т.н., профессор
АУЭС имени Г.Даукеева
«26» 05 2025 г.

 Байкенов А.С.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю



ҚЫЗМЕТІ аты-жөні
« 26 » 05 2025 ж.



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Есенгельдиева Аяжан Дарханқызы

Тақырыбы: Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении на основе модулей точного позиционирования

Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы

1-ұқсастық коэффициенті (30): 3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 1.5

Әріптерді ауыстыру: 0

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 1

Ақ белгілер: 1

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2025-05-22

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Есенгельдиева Аяжан Дарханкызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении на основе модулей точного позиционирования

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 3

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 1

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 1

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-22

Дата

Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Есенгельдиева Аяжан Дарханкызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении на основе модулей точного позиционирования

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 3

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 1

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 1

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-22

Дата



Заведующий кафедрой

