

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»

Тажимуратова Анель Жанайдаровна

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»



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

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

Образовательная программа: 6B06201 – Телекоммуникация

Выполнила

 Тажимуратова А.Ж.

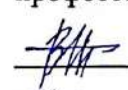
Рецензент

Научный руководитель

Доцент Алматинского университета
энергетики и связи имени Г.Даукеева

канд. техн. наук, ассоциированный
профессор

 Байкенов А.С.

 Жигалов В.А.

"24" 05 2025 г.

"24" 05 2025 г.

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 «6B06201 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.

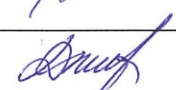
ГРАФИК

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

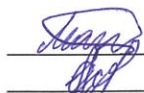
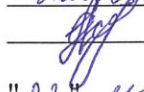
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

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

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в помещении на основе модулей точного позиционирования. Объектом исследования выступает система мониторинга беспроводных сетей, оснащенная навигационным и вычислительным узлом. Цель работы заключается в повышении точности пространственной привязки данных Wi-Fi сигнала для последующего анализа и оптимизации беспроводной инфраструктуры. Особенностью работы является интеграция ультразвуковой навигационной системы с микроконтроллером, обеспечивающим одновременную обработку и передачу данных. Работа носит прикладной характер и может быть использована при проектировании, диагностике и техническом сопровождении Wi-Fi сетей в условиях внутренней архитектуры.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс ішкі кеңістікте Wi-Fi сигналы деңгейін дәл позициялау модульдері негізінде картографиялау технологиясын әзірлеуге арналған. Зерттеу нысаны – навигациялық және есептеуіш тораппен жабдықталған сымсыз желілерді бықылау жүйесі. Жұмыстың мақсаты – Wi-Fi сигналының кеңістіктік координаталарын жоғары дәлдікпен тіркеуді қамтамасыз ету арқылы сымсыз инфрақұрылымды талдау жəге оңтайландыру мүмкіндігін арттыру. Жобаның ерекшелігі ө ультрадыбыстық навигациялық жүйені деректерді бір уақытта өндеуді жəге жіберуді қамтамасыз ететін микроконтроллермен біріктіруінде. Жұмыс қолданбалы сипатта болып табылады жəне күрделі ішкі архитектура жағдайында Wi-Fi желілерін жобалау, диагностика жəне техникалық сүйемелдеу барысында пайдалануға ұсынылады.

ANNOTATION

The final qualification work is devoted to the development of a technology for indoor Wi-Fi signal level mapping using precise positioning modules. The object of the study is a wireless network monitoring system equipped with a navigation and processing unit. The aim of the work is to improve the spatial accuracy of Wi-Fi signal data for further analysis and optimization of wireless infrastructure. A key feature of the project is the integration of an ultrasonic navigation system with a microcontroller capable of simultaneous data processing and transmission. The work has an applied nature and can be used in the design, diagnostics, and technical maintenance of Wi-Fi networks in complex indoor environments.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Анализ схемных решений и методов получения координат	10
1.1 Методы определения координат в помещениях	10
1.2 Сравнительный анализ технологий позиционирования	11
1.3 Работа ультразвуковой системы позиционирования	12
1.4 Критерии выбора вычислительного модуля и аргументация в пользу ESP32	14
1.5 Выбор технологии Bluetooth для беспроводной передачи данных	15
1.6 Анализ способов связи для передачи данных	16
1.7 Обобщение результатов анализа технологических решений	17
2 Теоретические основы и функциональная структура элементов системы	18
2.1 Ультразвуковое позиционирование с помощью маяков MarvelMind	18
2.2 Конфигурация системы внутренней навигации	18
2.3 ESP32 как управляющий узел навигационной системы	20
2.4 Принцип работы UART-интерфейса	21
3 Разработка принципиальной схемы устройства мониторинга Wi-Fi сигналов	23
3.1 Разработка структурной схемы устройства	23
3.2 Освоение и настройка навигационной системы MarvelMind	24
3.3 Реализация интерфейса связи между MarvelMind и микроконтроллером	27
3.4 Разработка канала связи по Bluetooth между устройством и смартфоном	29
3.5 Общая схема построения системы мониторинга Wi-Fi сигналов	29
4 Проектирование печатной платы и сборка корпуса устройства	31
4.1 Подготовка к проектированию платы	31
4.2 Размещение компонентов на плате	32
4.3 Разработка корпуса устройства	33
4.4 Выводы по результатам проектирования и сборки	34
Заключение	36
Список использованной литературы	37
Приложение А	38
Приложение Б	39

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие беспроводных технологий сопровождается активным внедрением Wi-Fi сетей в различные сферы жизни – от домашнего пользования до промышленных и общественных объектов. При этом стабильность сигнала в условиях помещений остается технической задачей, требующей комплексного подхода. Архитектурные барьеры, отражения и затухание сигнала создают участки с пониженным уровнем покрытия, что затрудняет эффективное функционирование сетевой инфраструктуры.

На фоне стремительного роста объема передаваемых данных и увеличения числа подключенных устройств возникает необходимость в системах, способных не только фиксировать параметры сигнала, но и точно привязывать их к конкретным координатам внутри здания. Это особенно актуально для задач оптимизации размещения точек доступа, устранения зон слабого сигнала и повышения общей надежности беспроводной связи. Однако традиционные методы позиционирования, такие как GPS или технологии на основе RSSI, не обеспечивают достаточной точности в закрытых пространствах, что требует внедрения новых технических решений.

Настоящая работа направлена на разработку мобильного устройства, способного проводить картографирование уровня Wi-Fi сигнала в помещениях с высокой точностью пространственной привязки. Целью исследования является создание решения, способного выполнять сбор, обработку и визуализацию данных о параметрах сигнала в контексте их пространственного распределения. Актуальность выбранного направления определяется необходимостью точной диагностики состояния беспроводной среды, особенно в тех случаях, когда сеть используется для критически важных массовых сервисов.

Научная новизна настоящего исследования заключается в использовании ультразвуковой технологии позиционирования для задач пространственного картографирования уровня Wi-Fi сигнала внутри помещений. Предлагаемый подход основан на интеграции координатных данных и сигнальных данных в рамках единого мобильного устройства, функционирующего автономно и не требующего наличия стационарной сетевой инфраструктуры. Полученные измерения визуализируются непосредственно на экране мобильного устройства пользователя, что обеспечивает оперативный доступ к диагностической информации и упрощает процесс анализа беспроводного покрытия в реальном времени.

Методологической основой исследования является инженерный подход к построению встраиваемых систем, основанный на системном анализе, схемотехническом проектировании и интеграции цифровых модулей. Теоретическая база опирается на современные исследования в области навигации в помещениях, микроконтроллерных решений и технологий беспроводной передачи данных.

Разрабатываемое устройство сочетает в себе точность, мобильность и универсальность, что делает его значимым вкладом в практику диагностики сопровождения беспроводных сетей. Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем для разработки интеллектуальных систем управления беспроводной связью, а также для внедрения технологий мониторинга в рамках концепции «умного пространства».

1 Анализ схемных решений и методов получения координат

1.1 Методы определения координат в помещениях

Позиционирование в помещениях – это процесс определения местоположения объекта относительно фиксированных точек ориентации. В отличие от глобальных систем (GPS, ГЛОНАСС), работающих на открытых пространствах, внутри зданий сигнал спутниковых систем ослабляется или полностью теряется. Это направило нас на развитие альтернативных методов, использующих радиоволны, оптические, инерциальные и акустические технологии.

Основные параметры, влияющие на точность позиционирования:

- тип измеряемого параметра
- число и расположение базовых станций или маяков
- помехоустойчивость и отражения сигналов
- алгоритмы обработки данных

Позиционирование в помещениях реализуется с использованием различных технологий, каждая из которых обладает уникальными характеристиками и ограничениями.

1.1.1 Позиционирование на основе технологий Wi-Fi

Wi-Fi-методы широко используются благодаря распространенности беспроводных сетей. Наиболее популярный способ – метод «отпечатков пальцев»: в помещении создается карта уровней сигнала (RSSI) от точек доступа, а затем текущие значения сравниваются с этой картой. Точность зависит от калибровки и плотности измерений.

Другой подход – трилатерация по RSSI, где расстояние до точек доступа оценивается по мощности сигнала. Однако нестабильность RSSI делает метод менее точным. Более современные технологии, реализованные в новых стандартах Wi-Fi (например, IEEE 802.11mc), позволяют измерять задержку прохождения сигнала между устройством и точкой доступа, обеспечивая точность до 1-2 метров при наличии совместимого оборудования.

1.1.2 Позиционирование с использованием BLE (Bluetooth Low Energy)

BLE-маячки применяются для позиционирования в помещениях благодаря энергоэффективности и доступности оборудования. Самый простой способ – фиксация факта нахождения устройства в зоне действия маячка.

Более точные методы аналогичны Wi-Fi: определение координат по уровню сигнала или на основе заранее подготовленной карты. С появлением Bluetooth версии 5.1 стало возможным определять направление на источник сигнала с

помощью антенных решеток, что позволило значительно повысить точность – до нескольких десятков сантиметров.

1.1.3 Ultra-Wideband (UWB)

UWB – высокоточная технология, использующая сверхширокополосные импульсы. Технология обеспечивает высокую точность за счет измерения времени пролета сигнала между устройствами. UWB обеспечивает точность на уровне 10-30 см, но требует специализированного и дорогостоящего оборудования.

1.1.4 Радиочастотная идентификация (RFID)

В системах позиционирования могут использоваться как активные, так и пассивные радиометки. Активные RFID-метки оснащены источником питания и могут передавать сигнал на большие расстояния. Применяются для грубого позиционирования – по близости к считывателям.

Пассивные RFID-метки не содержат батарей и активируются считывателем при приближении. Они чаще используются для идентификации при прохождении через определенные точки и плохо подходят для непрерывного отслеживания положения.

1.1.5 Оптические и визуальные методы

Оптические системы используют камеры и обработку изображений. Простое решение – применение визуальных меток (QR-коды, AR-метки), расположение которых заранее известно.

Более сложные методы включают визуальную одометрию и технологии одновременного построения карты и определения местоположения. Камера устройства фиксирует окружающее пространство, оценивая перемещения по последовательности изображений. Иногда также применяются инерциальные датчики для повышения стабильности.

Дополнительно возможно использование изображений как «визуальных отпечатков»: создается база снимков с привязанными координатами, и при определении положения текущее изображение сравнивается с эталонными.

1.1.6 Ультразвуковые методы позиционирования

Ультразвуковые системы работают на основе звуковых волн для определения координат объектов. Специальные эмиттеры передают сигнал, который принимается микрофонами. В большинстве случаев применяются сигналы в неслышимом для человека диапазоне (обычно выше 20 кГц), однако существуют решения, работающие в пределах слышимых частот.

Принцип действия таких систем основан на измерении времени прохождения звукового сигнала от передатчика к приемнику. Для определения положения необходимо измерить расстояние до нескольких стационарных точек с известными координатами [1].

1.2 Сравнительный анализ технологий позиционирования

Для выбора подходящего метода позиционирования необходимо учесть такие параметры, как точность, сложность реализации и затраты. Эти характеристики зависят от используемой технологии, условий среды, а также необходимой инфраструктуры.

В таблице (1.1) ниже представлены усредненные показатели и особенности наиболее распространенных методов позиционирования в помещениях, которые были описаны в подразделе 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнение особенностей технологий позиционирования

Метод позиционирования	Средняя точность	Затраты на оборудование	Особенности
Wi-Fi	От 1 до 15 м	Низкие	Использует существующую Wi-Fi-инфраструктуру, чувствителен к помехам
Bluetooth (BLE)	~1 м	Низкие – средние	Компактные маячки, подходит для мобильных устройств
Ultra-Wideband (UWB)	до 0,5 м	Высокие	Высокая точность, требует синхронизации и выделенной инфраструктуры
RFID	До 1 м	Низкие – средние	Подходит для отслеживания объектов, а не точного позиционирования
Оптические	Зависит от алгоритма	Средние – высокие	Высокая точность, но требует камер, обработки изображений, освещения
Ультразвуковое	+2 см	Средние	Очень высокая точность, возможны акустические помехи

Следует также учитывать, что выбор конкретной технологии нередко определяется не только техническими параметрами, но и практическими ограничениями: например, потребностью в мобильности, совместимости с существующей инфраструктурой, устойчивости к помехам и условиям эксплуатации. В некоторых случаях возможно комбинирование нескольких методов (например, ультразвукового и инерциального), что позволяет достичь баланса между точностью и устойчивостью системы в сложных условиях.

Как можно заметить ультразвуковые системы являются одним из наиболее точных методов позиционирования в помещениях, что лучше всего подходит в данной работе, а также находит широкое применение в задачах навигации, робототехники и мониторинга.

1.3 Работа ультразвуковой системы позиционирования

Ультразвуковые (УЗ) системы позиционирования широко применяются в задачах локализации благодаря высокой точности измерений и относительно простой аппаратной реализации. Основным принцип функционирования подобных систем заключается в определении расстояния между передатчиком и приёмниками на основе временных характеристик распространения звуковых волн в воздушной среде. В качестве измеряемого параметра используется либо время пролёта сигнала от источника до приёмника (Time of Flight), либо разность времён прихода сигнала к различным приёмникам (Time Difference of Arrival), в зависимости от архитектуры системы [2].

Скорость звука в воздухе при температуре 20 °С составляет около 343 м/с, что позволяет проводить измерения с высокой точностью даже при небольших временных интервалах. При измерении абсолютного времени прохождения сигнала расстояние между передатчиком и приёмником рассчитывается по формуле:

$$d = v \cdot t, \quad (1)$$

где d – расстояние;
 v – скорость распространения звука;
 t – измеренное время пролета.

Определение пространственного положения излучателя возможно путем анализа времен поступления сигнала к нескольким приемникам. Если координаты (x_i, y_i, z_i) всех приемников известны, а также рассчитаны расстояния d_i от передатчика до каждого из них, то координаты излучателя (x, y, z) можно определить из системы уравнений [3]:

$$d_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2, \quad (2)$$

где i – номер приемника.

Подобная система может быть решена с использованием численных или аналитических методов, включая матричный подход, что обеспечивает необходимую точность позиционирования.

Физическая реализация УЗ системы включает в себя следующие основные функциональные элементы: излучатель УЗ сигнала, звуковой канал, приёмник,

усилитель, устройство детектирования сигнала и схема фиксации момента приёма. Математическая модель, соответствующая указанной структуре, содержит генератор зондирующего сигнала (роль излучателя), источник шума (имитирующий акустические помехи), сумматор (звуковод и приёмник), узкополосный фильтр, усилитель сигнала, фиксатор уровня и компаратор (определяющий момент прихода сигнала) [4].

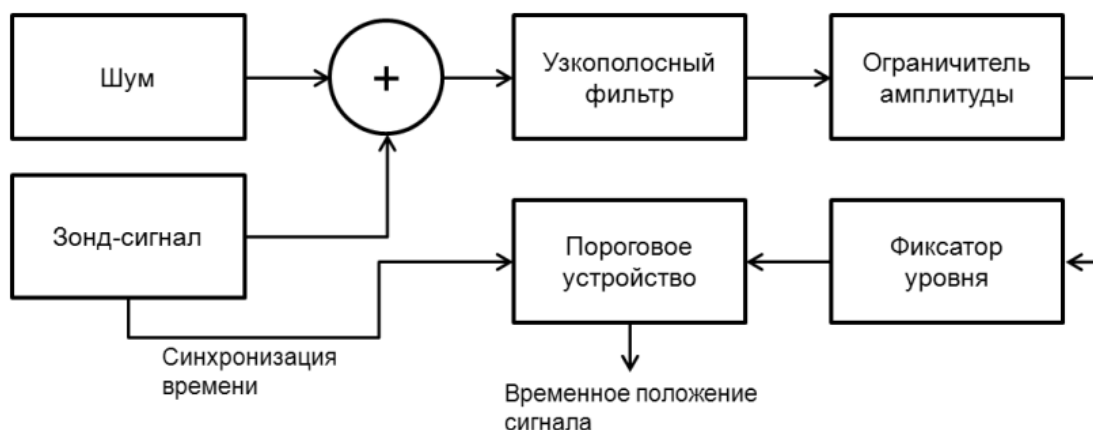


Рисунок 1.1 – Схема математической модели ультразвуковой системы позиционирования

Функционирование таких систем требует обеспечения прямой акустической видимости между устройствами. Препятствия, такие как стены, мебель или тела людей, могут отражать, поглощать или искажать УЗ сигнал, снижая точность измерений. Также на надёжность системы могут влиять реверберации и внешние акустические помехи. В связи с этим при проектировании важно учитывать расположение компонентов и применять алгоритмы фильтрации, сглаживания и коррекции данных координат.

1.4 Критерии выбора вычислительного модуля и аргументация в пользу ESP32

Одной из ключевых инженерных задач при проектировании системы мониторинга Wi-Fi сигналов является организация сбора, обработки и последующей передачи информации. Поскольку устройство должно одновременно совершать несколько действий параллельно – включая приём координат, сканирование Wi-Fi сетей и отправку агрегированных данных на внешние устройства – к микроконтроллеру предъявляются следующие технические требования:

- наличие встроенного модуля Wi-Fi;
- способность передачи информации;

- компактные размеры;
- энергоэффективность;
- доступность, распространенность.

Были рассмотрены следующие микроконтроллеры, удовлетворяющие базовым требованиям к вычислительной мощности, наличию встроенных средств связи и энергоэффективности:

а) ESP8266 – одноплатный микроконтроллер, широко применяемый в проектах интернета вещей благодаря встроенному Wi-Fi-модулю и компактному исполнению. Однако отсутствие поддержки Bluetooth, ограниченные ресурсы памяти и слабая многозадачность существенно ограничивают его применимость в более сложных системах.

б) Arduino MKR WiFi 1010 – плата на базе микроконтроллера SAMD21 с интегрированными модулями Wi-Fi и BLE. Устройство характеризуется низким энергопотреблением и удобством интеграции, однако проигрывает по производительности и числу периферийных интерфейсов в сравнении с более мощными решениями.

в) Raspberry Pi Pico W – плата на базе чипа RP2040 с поддержкой Wi-Fi, но без встроенного Bluetooth. Несмотря на наличие двух процессорных ядер, ограниченные коммуникационные возможности и отсутствие аппаратной поддержки некоторых интерфейсов делают её менее предпочтительной в рассматриваемом проекте.

г) STM32F4 (или аналогичные модели семейства STM32) – производительные микроконтроллеры с архитектурой ARM Cortex-M, отличающиеся высоким уровнем надёжности и широким набором встроенных периферийных модулей. Однако для реализации задач беспроводной связи требуется использование внешних модулей Wi-Fi и Bluetooth, что увеличивает как аппаратную сложность, так и энергопотребление системы.

д) ESP32 – модуль, построенный на базе чипа ESP32-D0WDQ6, сочетает в себе двухъядерную архитектуру Xtensa LX6, встроенные модули Wi-Fi (802.11 b/g/n) и Bluetooth/BLE, а также обширный набор коммуникационных интерфейсов (UART, SPI, I²C, I²S и др.). Благодаря высокой вычислительной мощности, гибкой маршрутизации GPIO, поддержке параллельных задач и активной программной экосистеме, данный микроконтроллер оказался наиболее сбалансированным решением для поставленной задачи.

Учитывая совокупность перечисленных факторов, можно заключить, что выбор ESP32 является наиболее рациональным решением среди представленных альтернатив при реализации устройства мониторинга Wi-Fi сигналов с позиционированием в помещении, как указано в пункте д) [5].

1.5 Выбор технологии Bluetooth для беспроводной передачи данных

Для передачи координат и информации о уровне сигнала Wi-Fi на внешнее устройство, можно воспользоваться технологией Bluetooth.

Во многих современных микроконтроллерах, уже имеется встроенный модуль Bluetooth, который поддерживает как классический Bluetooth, так и протокол Bluetooth Low Energy (BLE). Такой подход позволяет сократить количество внешних компонентов и упростить схему. Однако при разработке и отладке устройств встроенный модуль может оказаться менее удобным из-за более сложной настройки или конфликтов с другими задачами, выполняемыми микроконтроллером. В связи с этим часто предпочтительнее использовать внешний Bluetooth-модуль.

Ниже перечислены Bluetooth-модули, которые относятся к самым распространенным:

- HM-10 – недорогой BLE 4.0 модуль с простым управлением по UART;
- Модули серии JDY – поддерживают более современные версии BLE (4.x-5.x), отличаются разнообразием модулей и улучшенными характеристиками по скорости, дальности и энергопотреблению;
- HC-05 / HC-06 – модули на классическом Bluetooth (2.0), простые и дешевые, но не совместимы с BLE-устройствами;
- Nordic Semiconductor (nRF51/nRF52) – мощные BLE-модули с высокой стабильностью и низким энергопотреблением, но требуют большей подготовки и часто стоят дороже.

Основная идея Bluetooth-модулей – предоставить простой способ добавления беспроводной связи к проекту, обычно через интерфейс UART и с использованием AT-команд для настройки и управления [6].

1.6 Анализ способов связи для передачи данных

Для функционирования системы картографирования Wi-Fi необходимо, чтобы координаты, определяемые системой позиционирования, поступали на микроконтроллер, обрабатывались и затем синхронизировались с информацией о сигнале Wi-Fi.

Существует множество способов организации связи между устройствами, однако наиболее часто применяется проводное подключение через стандартные цифровые интерфейсы, такие как UART, SPI и I²C.

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) – универсальный асинхронный приемопередатчик, широко используемый для передачи данных между двумя устройствами. Отличается простотой реализации, малым количеством необходимых проводников и поддержкой различных скоростей передачи. UART не требует синхронизации тактовыми сигналами, что делает его удобным для множества приложений, где важна простота соединения.

SPI (Serial Peripheral Interface) – синхронный последовательный интерфейс, предназначенный для высокоскоростной передачи данных между микроконтроллером и периферийными устройствами. В отличие от UART, SPI использует отдельную линию тактирования (SCLK) и линии выбора устройств

(CS/SS), что обеспечивает высокую скорость и надежность обмена, однако увеличивает количество необходимых соединений.

I2C (Inter-Integrated Circuit) – еще один синхронный интерфейс, устройств с использованием всего двух линий (SCL – линия тактирования, SDA – линия данных). I2C удобен для работы с множеством периферийных устройств, но скорость передачи данных у него ниже по сравнению со SPI.

1.7 Обобщение результатов анализа технологических решений

Проведенный обзор и сравнительный анализ существующих методов позиционирования в помещениях показал, что ультразвуковые технологии обеспечивают наивысшую точность пространственного определения координат (до ± 2 см), что делает их предпочтительными в задачах, где критична высокая детализация картографирования. Рассмотренные альтернативы – Wi-Fi, BLE, UWB, RFID, оптические и инерциальные методы – продемонстрировали разный уровень точности, стоимости и сложности реализации, однако большинство из них уступают ультразвуковым системам в стабильности и надежности работы в ограниченном пространстве.

Выбор в пользу микроконтроллера ESP32 обусловлен его вычислительными возможностями, поддержкой Wi-Fi и Bluetooth, энергоэффективностью, компактностью и широким программным сообществом. Это делает его подходящим решением как для обработки координатных данных, так и для сбора информации о Wi-Fi сигналах.

Для реализации беспроводного обмена с мобильными устройствами выбрана технология Bluetooth (BLE), а в качестве канала передачи данных между модулями – UART-интерфейс, сочетающий простоту реализации и надежность в условиях ограниченного пространства.

На основании проведенного анализа были сформированы обоснованные проектные решения по выбору архитектуры системы, аппаратной платформы и метода позиционирования, что обеспечило переход к этапу проектирования устройства с учетом требований по точности, компактности и энергоэффективности.

2 Теоретические основы и функциональная структура элементов системы

2.1 Ультразвуковое позиционирование с помощью маяков MarvelMind

В рамках настоящего исследования применяется система внутренней навигации MarvelMind, представляющая собой высокоточное техническое решение для позиционирования объектов в замкнутых пространствах. Система предназначена для определения координат подвижных объектов, к которым прикреплены мобильные маяки, и может быть интегрирована в состав автономных робототехнических комплексов, автоматических транспортных средств, погрузчиков, беспилотных летательных аппаратов, а также других мобильных платформ.

Конструктивно система представляет собой совокупность стационарных ультразвуковых маяков, объединенных посредством радиоканала, функционирующего в свободном диапазоне частот 915/868 МГц, одного или нескольких мобильных маяков, установленных на отслеживаемых объектах, и модема, осуществляющего интерфейс между системой и персональным компьютером или иным вычислительным устройством.

Определение координат мобильного маяка осуществляется посредством алгоритма трилатерации, основанного на измерении задержки распространения ультразвуковых сигналов (Time-of-Flight, TOF) между стационарными и мобильными компонентами системы.

С точки зрения принципов организации, система поддерживает несколько архитектурных конфигураций:

- NIA (Non-Inverse Architecture) – неинверсная архитектура,
- IA (Inverse Architecture) – инверсная архитектура,
- MF NIA (Multi-Frequency Non-Inverse Architecture) – многочастотная неинверсная архитектура.

Функциональной единицей системы является карта, включающая в себя одну или несколько субкарт, стационарные маяки и зоны обслуживания. Ультразвуковые сигналы, излучаемые маяками, размещенными в пределах субкарты, обеспечивают возможность пространственного позиционирования мобильных элементов системы [7].

2.2 Конфигурация системы внутренней навигации

Как было рассмотрено в предыдущем разделе, система внутренней навигации MarvelMind включает в себя три ключевых компонента: стационарные маяки, мобильный маяк и модем. На рисунке 2.2 изображена типовая конфигурация системы внутренней навигации MarvelMind. Эти модули внешне идентичны, однако выполняют различные функции в зависимости от настроек системы. Рассмотрим принципы функционирования каждого из них.



Рисунок 2.1 – Набор внутренней навигации MarvelMind

Стационарные маяки устанавливаются, как правило, на вертикальных или горизонтальных поверхностях (например, стенах или потолках) над отслеживаемым объектом, при этом их ультразвуковые сенсоры ориентированы вниз. Такая конфигурация позволяет обеспечить стабильное и равномерное покрытие зоны позиционирования ультразвуковыми сигналами. Правильный выбор положения и ориентации стационарных маяков существенно влияет на эффективность функционирования системы, так как зона покрытия должна быть максимально полной и непрерывной. В зависимости от архитектуры системы маяки выполняют различные функции: в неинверсной архитектуре после формирования и фиксации карты они функционируют исключительно как приемники сигналов, в то время как в инверсной архитектуре они работают только в качестве передатчиков.

Мобильный маяк, также известный под названием «HedgeHog», размещается непосредственно на объекте, положение которого необходимо отслеживать. Следует обеспечить его установку таким образом, чтобы ультразвуковые сенсоры не были закрыты посторонними предметами, что могло бы привести к затуханию сигнала и снижению точности измерений. Получение координат мобильного маяка возможно посредством различных интерфейсов: USB (виртуальный последовательный порт), стандартный UART, SPI, а также через модем по USB. Передача данных осуществляется в формате NMEA 0183, аналогично данным глобальных навигационных системы (GPS).

Модем выполняет функцию центрального управляющего элемента системы. Его постоянное питание необходимо на протяжении всей работы навигационного комплекса. Модем используется для конфигурации и управления системой, а также для мониторинга ее состояния через программное обеспечение MarvelMind Dashboard. Размещение модема осуществляется в пределах зоны устройчивой радиосвязи с маяками, которая при использовании антенн из стандартного комплекта составляет до 100 метров.

Кроме того, важным аспектом при работе с системой MarvelMind является корректная настройка субкарт и зон обслуживания, особенно в случае, если объект перемещается между различными участками помещения. В интерфейсе MarvelMind Dashboard предусмотрена возможность создания нескольких субкарт, каждая из которых включает в себя определенное количество стационарных маяков, работающих в своей частотной области. Переход между субкартами осуществляется автоматически благодаря механизму handover – зоне передачи, где сигналы двух соседних субкарт пересекаются. Это позволяет системе непрерывно отслеживать координаты мобильного маяка даже при его перемещении из одной субкарты в другую [7].

2.3 ESP32 как управляющий узел навигационной системы

В качестве центрального управляющего компонента в проектируемом устройстве мониторинга Wi-Fi сигналов с функцией позиционирования использован микроконтроллер ESP32-WROOM-32, основанный на одноименном чипе ESP32, разработанном компанией Espressif Systems. Данный модуль сочетает в себе высокую вычислительную производительность, широкие возможности беспроводной связи и компактные габариты, что делает его особенно подходящим для встраиваемых систем и устройств интернета вещей.

На рисунке 2.3 представлено внешнее исполнение микроконтроллера ESP32-WROOM-32, использованного в составе устройства.



Рисунок 2.2 – ESP32-WROOM-32

Архитектурной основой ESP32 служит двухъядерный 32-битный процессор Xtensa LX6, функционирующий на частоте до 240 МГц. Оба ядра

обладают симметричным адресным пространством объемом до 4 ГБ и поддерживают параллельное выполнение задач, что позволяет одновременно обрабатывать координатные данные от навигационной системы и сканировать сигналы Wi-Fi. Для обеспечения эффективного обмена данными предусмотрены как шины данных, так и шины инструкций, функционирующие по архитектуре Harvard.

Микроконтроллер оснащен встроенными модулями Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) и Bluetooth/BLE, благодаря чему не требуется использование дополнительных радиомодулей, что уменьшает аппаратную сложность проекта. Кроме того, поддержка широкого набора интерфейсов – UART, SPI, I²C, I²S, ADC, DAC, PWM и других – обеспечивает гибкость в организации коммуникации с внешними модулями. В рамках текущей реализации используется UART-интерфейс для получения координатных данных от мобильного маяка и передачи результатов на Bluetooth-модуль.

Аппаратная платформа ESP32-WROOM-32 представляет собой готовый модуль, содержащий чип ESP32-D0WDQ6, 4 МБ встроенной SPI-флеш-памяти и компактную PCB-антенну. Габариты модуля составляют 25,5 × 18 × 3,1 мм, что соответствует требованиям по компактности и размещению в ограниченном пространстве. Модуль сертифицирован по стандартам FCC и допускает работу в широком температурном диапазоне от –40 до +85 °С, что важно при практическом использовании устройства в различных условиях.

Помимо аппаратных преимуществ, ESP32 поддерживает множество сред разработки – включая ESP-IDF (официальный фреймворк), Arduino IDE и PlatformIO – что упрощает программную реализацию логики обработки координат, беспроводного обмена и управления питанием [8][9].

2.4 Принцип работы UART-интерфейса

В рамках рассматриваемого проекта приоритет был отдан UART – интерфейсу, который расшифровывается как универсальный асинхронный приемопередатчик (Universal Asynchronous Receiver Transmitter).

Данный интерфейс может быть реализован как в виде внешнего модуля (например, USB-UART преобразователя), так и как встроенный функциональный блок микроконтроллера. Он также нередко входит в состав более сложных вычислительных архитектур, таких как системы на кристалле (SoC) или аппаратные платформы проекта PLEASE.

Рассмотрим организацию взаимодействия между двумя устройствами при помощи данного интерфейса, изображенного на рисунке ниже. Передача данных по UART осуществляется по двум основным рабочим линиям – принимающая RXD и передающая TXD. Важно помнить, что для корректной работы соединения необходимо, чтобы передающая линия одного устройства была подключена к принимающей линии другого, и наоборот. Помимо этого, оба

устройства должны иметь общую шину заземления для того, чтобы их нулевые потенциалы были на одинаковом уровне.

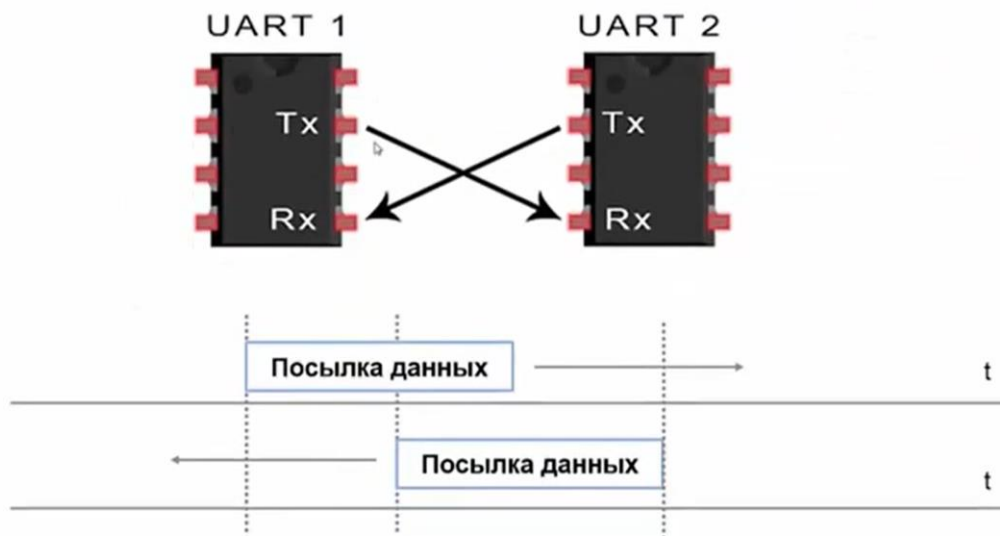


Рисунок 2.3 – Схема взаимодействия по UART-интерфейсу

Передача может происходить асинхронно, то есть посылки данных отправляются в произвольные моменты времени, без необходимости жесткой синхронизации. Это является как преимуществом, так и ограничением: с одной стороны, отпадает необходимость в дополнительной синхронизации и линиях связи, с другой – возникает необходимость в точной настройке параметров обмена на обоих устройствах. Малейшее расхождение в скорости передачи или несоответствие структуры посылки может привести к искажению данных.

Для того чтобы начать обмен данным, необходимо определить следующие параметры интерфейса:

- скорость передачи информации (например: 9600 или 115200 бод/с),
- количество информационных бит в одной посылке (обычно 8),
- наличие и количество стоповых и стартовых битов,
- наличие бита честности для контроля ошибок.

В современных проектах UART часто используется в связке с Bluetooth-модулями, GPS-приёмниками, радиомодулями или другими внешними устройствами. Благодаря своей универсальности, он позволяет легко интегрировать дополнительные компоненты без значительных изменений аппаратной части. Именно эта гибкость и стала ключевым аргументом в пользу его выбора в рамках настоящего проекта.

3 Разработка принципиальной схемы устройства мониторинга Wi-Fi сигналов

3.1 Разработка структурной схемы устройства

Одним из важнейших этапов проектирования устройства является разработка его структурной схемы. Как было установлено в предыдущем разделе, основными функциональными элементами проектируемой системы являются мобильный маяк навигационной системы MarvelMind, микроконтроллер ESP32-WROOM-32, а также вспомогательные узлы, обеспечивающие питание, организацию связи и передачу данных. Мобильный маяк служит источником координатной информации, которая поступает на микроконтроллер для дальнейшей обработки и синхронизации с данными о Wi-Fi сетях.

Микроконтроллер ESP32 осуществляет приём координатных данных, сканирование доступных Wi-Fi сетей, сопоставление полученной информации, а также организацию передачи агрегированных данных на внешние устройства посредством встроенного Bluetooth-модуля. Питание устройства обеспечивается с помощью внешнего пауэрбанка через стандартный USB-кабель.

В рамках проектируемой системы особое внимание уделено обеспечению устойчивого взаимодействия между компонентами в условиях ограниченного пространства и потенциальных помех. Архитектура устройства построена таким образом, чтобы все узлы функционировали автономно и согласованно, без необходимости в постоянной связи с внешними вычислительными системами. Благодаря модульной организации устройства, каждый элемент – будь то блок позиционирования, вычислительный модуль или модуль беспроводной связи – выполняет строго определенную функцию, что упрощает диагностику, модернизацию и масштабирование системы.

На рисунке 3.1 представлена структурная схема устройства мониторинга Wi-Fi сигналов, демонстрирующая ключевые блоки и каналы взаимодействия между ними.

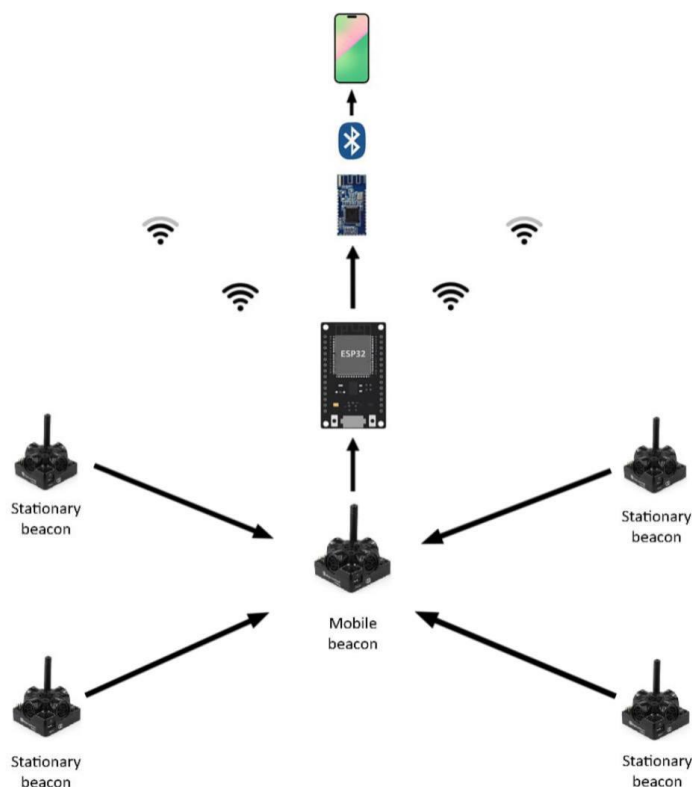


Рисунок 3.1 – Структурная схема устройства мониторинга Wi-Fi сигналов

Дополнительным преимуществом разработанной структуры является высокая гибкость в применении. Устройство может быть адаптировано под различные сценарии – от технического аудита Wi-Fi покрытия в зданиях до поддержки мобильных платформ в логистических или образовательных пространствах. Возможность замены отдельных компонентов (например, Bluetooth-модуля или типа микроконтроллера) без необходимости перепроектирования всей системы делает предлагаемое решение технологически устойчивым и перспективным для дальнейшего развития.

3.2 Освоение и настройка навигационной системы MarvelMind

На начальном этапе проектирования особое внимание было уделено изучению принципов работы и освоению инструментов настройки ультразвуковой навигационной системы MarvelMind. Поскольку данная технология ранее не применялась в рамках учебных проектов, ключевой задачей стало поэтапное погружение в ее архитектуру, освоение программного обеспечения Dashboard и выработка навыков конфигурации оборудования. Осознание взаимосвязей между аппаратными компонентами и логикой их взаимодействия на уровне системы позволило перейти от теоретического понимания к уверенной практической работе.

Стационарные ультразвуковые маяки должны устанавливаться на вертикальных поверхностях над отслеживаемым объектом. Их акустические сенсоры ориентируются вниз, формируя равномерное покрытие пространства ультразвуковыми волнами. Конкретные координаты и углы установки подбираются индивидуально и учитывают как геометрию помещения, так и особенности акустической среды – отражения, препятствия и возможные зоны затенения сигнала.

В качестве примера может быть рассмотрено рабочее пространство квадратной формы [10]. На рисунке 3.3 представлена типовая схема размещения стационарных ультразвуковых маяков, обеспечивающая равномерное покрытие зоны позиционирования и устойчивое определение координат мобильного объекта в пределах области действия системы.

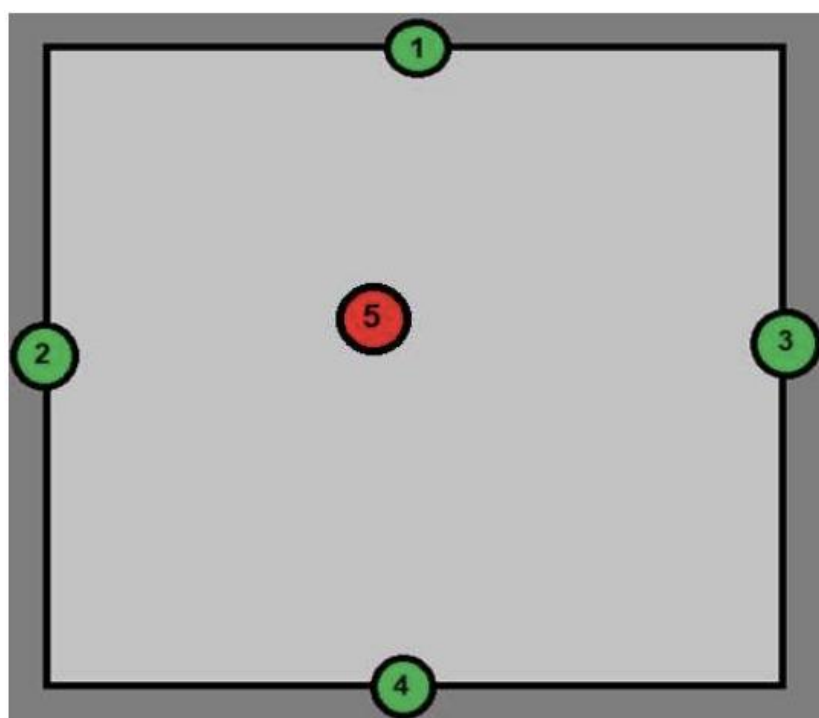


Рисунок 3.2 – Схема установки ультразвуковых маяков в помещении

На этапе первоначальной настройки стационарные маяки функционируют одновременно как излучатели и как приемники, участвуя в формировании пространственной карты системы. После ее фиксации (или, как указывается в документации, "заморозки") они переходят в односторонний режим работы – принимают сигнал. Переключение их роли, включая возможность назначения одного маяка в качестве мобильного, производится через программный интерфейс Dashboard, выступающий центральным элементом управления всей системой [7].

На рисунке 2.2 продемонстрирован интерфейс MarvelMind Dashboard: в нём отображаются топология маяков, границы субкарт, зона охвата, а также путь движения мобильного элемента системы.

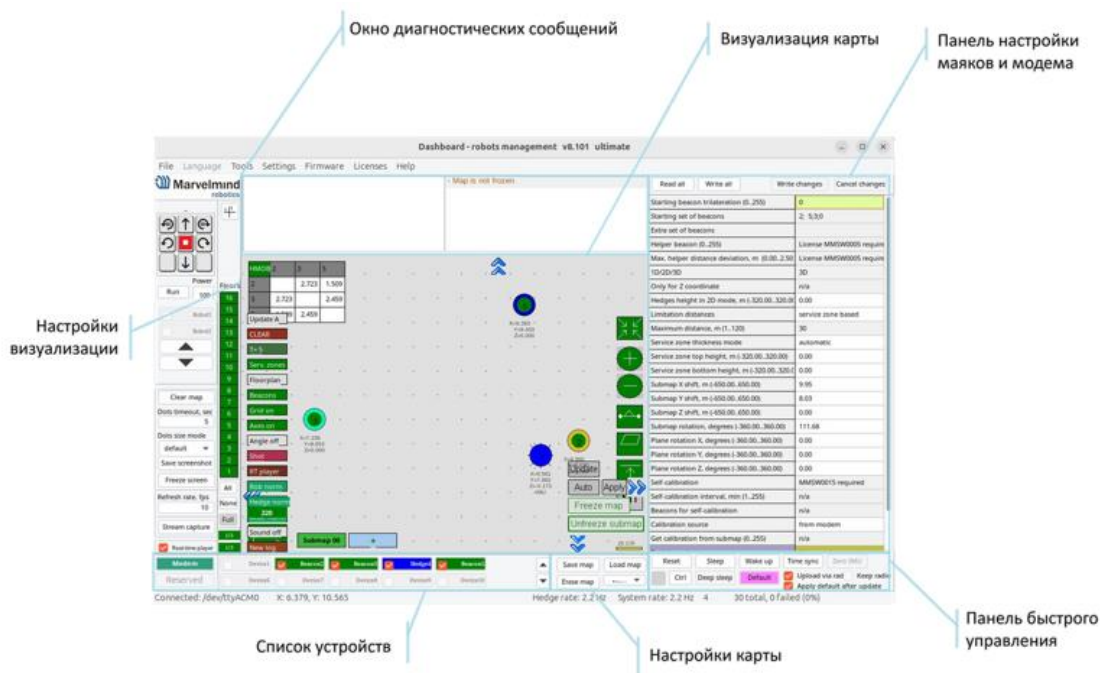


Рисунок 3.2 – Интерфейс программного обеспечения MarvelMind Dashboard

Программная оболочка предоставляет пользователю полный набор инструментов для адаптивной настройки системы – от конфигурации пространственной структуры до мониторинга текущих координат и качества сигнальных каналов в режиме реального времени.

Прежде чем приступить к эксплуатации, необходимо удостовериться, что все оборудование заряжено, а на каждое устройство загружена актуальная версия прошивки. Один из маяков переводится в подвижный режим, а модем подключается к рабочему компьютеру. Система активируется, и производится проверка на корректность взаимодействия компонентов. Этот этап сопровождается анализом Table of Distances – специальной таблицы, отображающей расстояния между активными маяками. Зеленые ячейки подтверждают корректность связи, тогда как любые отклонения (желтые или красные индикаторы) сигнализируют о проблемах с позиционированием или размещением устройств. Только после устранения всех ошибок можно выделить область работы и зафиксировать субкарту, после чего система переходит в штатный режим слежения за движением мобильного маяка.

Для диагностики и тонкой настройки в состав интерфейса включен осциллограф – инструмент, позволяющий наблюдать параметры передачи сигнала между маяками. Он отображает не только амплитуду полезного сигнала, но и уровень фона, а также наличие эхосигналов, что особенно критично при работе в акустически нестабильной среде.

3.3 Реализация интерфейса связи между Marvelmind и микроконтроллером

Одним из первоочередных этапов при интеграции мобильного маяка навигационной системы Marvelmind с микроконтроллером ESP32 является корректное определение и конфигурация необходимых линий ввода-вывода общего назначения (GPIO), обеспечивающих интерфейс связи между двумя устройствами. Для реализации обмена координатной информацией между устройствами в рамках данного проекта был выбран последовательный интерфейс UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) обладающий высокой устойчивостью к помехам при коротких соединениях, простотой аппаратной реализации и широкой поддержкой в микроконтроллерах.

Связь организована посредством двух линий: передающей (TXD) и сигнальной «земли» (GND) со стороны модуля Marvelmind, подключенных соответственно к приемной линии (RXD) и общему проводу (GND) микроконтроллера ESP32. Расположение и обозначение выводов TXD и GND на маяке Marvelmind представлены на рисунке 3.2.

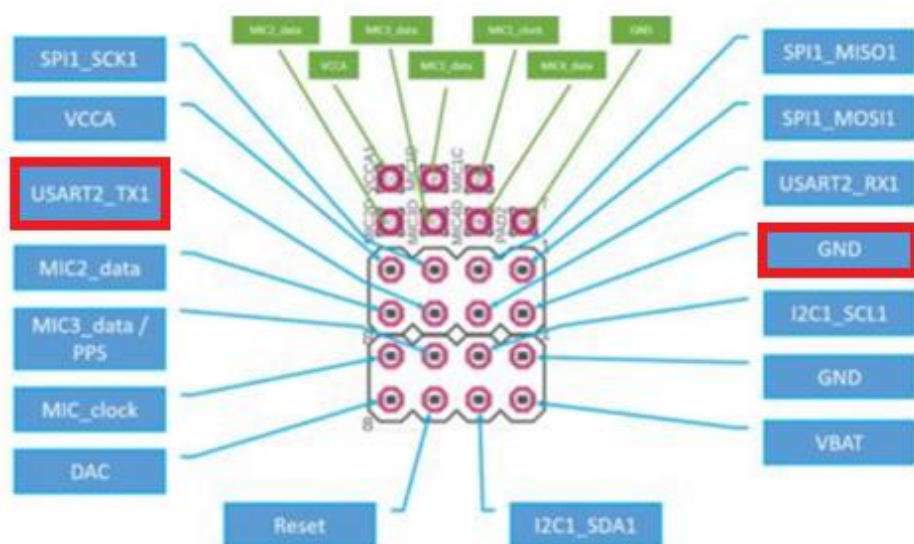


Рисунок 3.3 – Распиновка маяка MarvelMind (форм-фактор 4x4)

Микроконтроллер ESP32-WROOM-32 обладает тремя независимыми аппаратными UART-интерфейсами: UART0, UART1 и UART2, каждый из которых поддерживает полнодуплексную передачу данных, буферизацию, управление потоком и конфигурируемую скорость передачи вплоть до 5 Мбит/с. Все UART-порты могут быть гибко переназначены на произвольные линии ввода-вывода (GPIO) с помощью встроенного механизма маршрутизации сигналов, что предоставляет широкие возможности для адаптации схемы подключения под конкретные требования проекта.

UART0 является основным портом микроконтроллера и, как правило, используется для связи с компьютером через интерфейс USB-UART при

программировании устройства и выводе отладочной информации в среде разработки Arduino IDE или ESP-IDF. Использование UART0 для обмена данными с внешними устройствами может вызвать конфликты с отладочными сообщениями, особенно при одновременной работе через Serial Monitor, что ограничивает его применимость в многозадачных системах.

UART1 технически поддерживает те же функции, однако в ESP32 линии передачи (TXD) и приема (RXD) по умолчанию назначены на GPIO10 и GPIO9 соответственно. Эти выводы пересекаются с линиями подключения встроенной флеш-памяти, что делает использование UART1 затруднительным или вовсе невозможным в большинстве конфигураций микроконтроллера, особенно в модуле ESP32-WROOM-32.

В связи с этим, для реализации надежного интерфейса приема координатных данных от маяка MarvelMind в данном проекте был выбран третий интерфейс – UART2. Он обеспечивает полную функциональность UART-протокола и при этом не конфликтует с системными ресурсами. В рассматриваемой реализации приёмный канал UART2 был назначен на линию GPIO16.

На рисунке 3.3 показана схема распиновки микроконтроллера ESP32-WROOM-32, где обозначен используемый пин GPIO16.

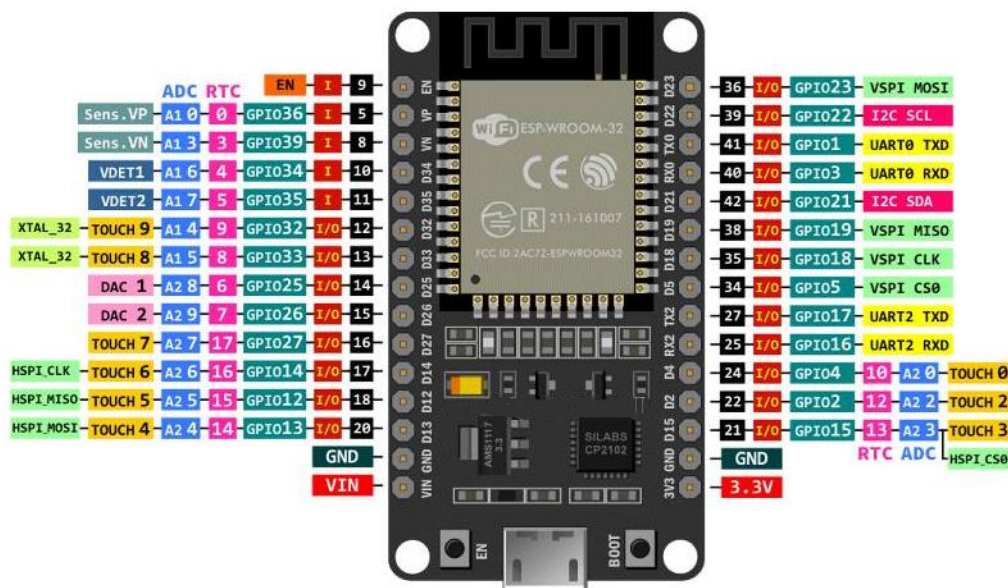


Рисунок 3.4 – Распиновка микроконтроллера ESP32-WROOM-32

Во время разработки устройства также рассматривалась возможность использования других UART-интерфейсов, однако вследствие выявленных технических ограничений от данного решения было решено отказаться.

3.4 Разработка канала связи по Bluetooth между устройством и смартфоном

С целью повышения мобильности и удобства взаимодействия с пользователем в разрабатываемом устройстве мониторинга Wi-Fi сигналов была реализована функция беспроводной передачи данных посредством Bluetooth-модуля НМ-10. Этот модуль отличается надежностью работы, низким энергопотреблением и лёгкостью интеграции, что делает его оптимальным выбором для связи с мобильными устройствами.

Обмен информацией между микроконтроллером ESP32 и модулем НМ-10 также осуществляется через UART-интерфейс. Для этого использованы следующие линии: передача данных осуществляется от вывода TXD микроконтроллера на RXD модуля, а также обеспечено общее заземление (GND) и подача питания – Vin с ESP32 и VCC на стороне модуля. Поскольку в рамках данной задачи требуется только передача данных от микроконтроллера, используется односторонний канал передачи, организованный через вывод GPIO17, сконфигурированный как TXD интерфейса UART2.

После физического подключения, прошивки ESP32 и включения Bluetooth на смартфоне, можно установить соединение с модулем НМ-10 через стандартное приложение для последовательной связи Serial Bluetooth Terminal или его аналог. После сопряжения и выбора скорости передачи (9600 бод), на экране телефона в реальном времени отображаются данные, поступающие с устройства.

3.5 Общая схема построения системы мониторинга Wi-Fi сигналов

Разработанное устройство мониторинга Wi-Fi сигналов предназначено для автономной работы в реальных условиях, где требуется быстрая установка, мобильность и возможность оперативного съема данных. Для удобного пользования и возможности перемещения устройства добавлен переносной источник питания – пауэрбанк. Он подключен к ESP32 через стандартный micro-USB порт и обеспечивает стабильное напряжение 5 В. Такое решение позволяет отказаться от громоздких внешних источников питания и делает устройство пригодным для использования не только в лабораторных условиях, но и в офисных, учебных или даже строительных помещениях.

На рисунке 3.5 представлена итоговая схема устройства мониторинга Wi-Fi сигналов, демонстрирующая основные аппаратные компоненты и взаимодействие между ними, включая канал Bluetooth-связи со смартфоном.

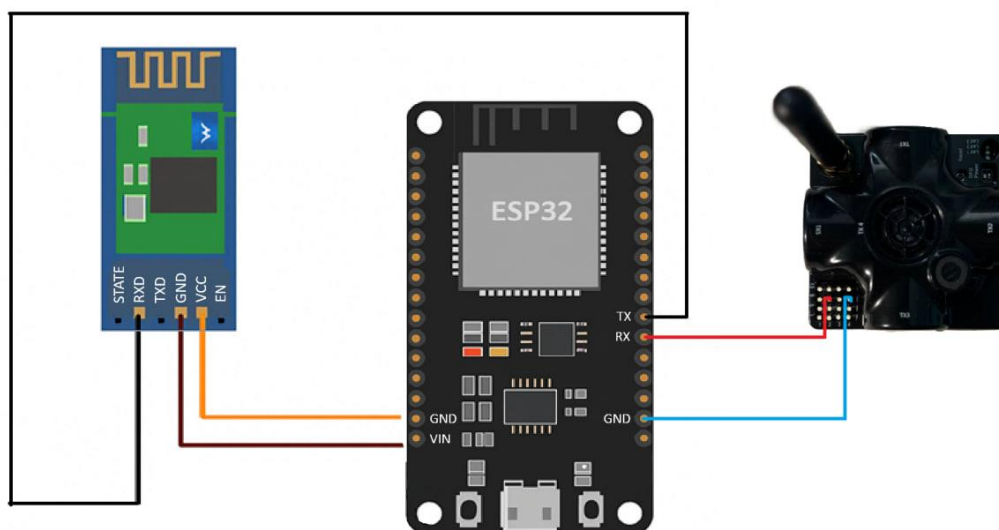


Рисунок 3.5 – Итоговая схема устройства мониторинга Wi-Fi сигналов

Представленная на рисунке схема наглядно иллюстрирует взаимодействие всех ключевых компонентов устройства: модуль позиционирования MarvelMind передаёт координаты на микроконтроллер ESP32, который, в свою очередь, осуществляет параллельное сканирование доступных Wi-Fi сетей, объединяет полученные данные и передаёт их по Bluetooth-каналу на смартфон пользователя. Такое распределение функций и организация обмена данными позволяют обеспечить автономную работу устройства, мобильность в эксплуатации и удобство при съёме информации в режиме реального времени.

4 Проектирование печатной платы и сборка корпуса устройства

4.1 Подготовка к проектированию платы

Переход от макетной сборки к финальной конструкции устройства требует разработки не только печатной платы, но и корпуса, который обеспечит защиту, удобство эксплуатации и корректную работу всех элементов. Конструкция корпуса оказывает существенное влияние на стабильность функционирования навигационной и вычислительной части системы, поэтому этап выбора и проектирования корпуса является ключевым в подготовке к сборке.

В соответствии с функциональной архитектурой устройства и его предполагаемыми условиями эксплуатации было принято решение использовать компактный корпус из прозрачного акрила, выполненный в виде двухъярусной конструкции. Такой подход позволил физически разделить элементы, чувствительные к взаимным помехам, и одновременно обеспечить необходимую вентиляцию и визуальный контроль за компонентами в процессе работы.

Кроме основных функциональных компонентов, конструкция учитывает размещение межплатных соединений, переключателей, креплений, вентиляционных зазоров и точек фиксации для устойчивости устройства при перемещении. На этапе проектирования были произведены измерения габаритов каждого элемента, определены зоны допустимого размещения и учтены требования к ориентации разъёмов и направлению антенн.

На рисунке 4.1 представлен прототип конструкции корпуса устройства, иллюстрирующий пространственную организацию основных компонентов и принцип их размещения по уровням.



Рисунок 4.1 - Прототип корпуса устройства

В качестве среды для проектирования печатной платы была выбрана EasyEDA — облачная платформа, обладающая широким спектром инструментов для создания электронных схем, трассировки печатных плат и подготовки файлов для последующего производства. Преимуществами данной среды являются интуитивно понятный интерфейс, встроенная библиотека электронных компонентов, поддержка односторонней и двусторонней разводки, а также возможность автоматической проверки ошибок (DRC). Благодаря этим возможностям EasyEDA позволила эффективно организовать процесс проектирования с учётом габаритов устройства, особенностей схемотехники и требований к размещению элементов.

4.2 Размещение компонентов на плате

На основании ранее разработанной принципиальной схемы был выполнен следующий этап проектирования — компоновка электронных компонентов на печатной плате. При выполнении данной задачи особое внимание уделялось как электрическим связям между узлами, так и физическим ограничениям, продиктованным габаритами корпуса, ориентацией разъемов, а также особенностями подключения внешних устройств.

Габариты печатной платы были определены исходя из конструктивных параметров корпуса — размеров акриловых панелей и межэтажных стоек. В результате была спроектирована плата размером приблизительно 100×40 мм, обеспечивающая рациональное размещение всех необходимых компонентов. На верхнем уровне размещены микроконтроллер ESP32 и модуль Bluetooth HM-10, для которых были предусмотрены соответствующие контактные площадки. Кроме того, были добавлены специальные пэды для подключения мобильного маяка MarvelMind по линиям TXD и GND. Разъём microUSB, предназначенный для питания устройства от внешнего пауэрбанка, был выведен на край платы для обеспечения удобства подключения в условиях эксплуатации.

На этапе проектирования использовалась библиотека компонентов EasyEDA, однако значительная часть доступных моделей имела неточные размеры или не соответствовала реальным посадочным местам. В связи с этим большинство компонентов было откорректировано вручную. Особое внимание потребовалось уделить модулю HM-10: при проверке его посадочной модели было выявлено, что элемент в редакторе печатных плат отображался в перевернутом виде, что могло привести к некорректной пайке и ошибкам в работе устройства. После внесения соответствующих правок размещение всех компонентов было скорректировано в соответствии с реальными физическими размерами.

Размещенные элементы и сформированная структура платы представлены на рисунке 4.2.

открытости акустических датчиков: ультразвуковые сенсоры должны быть ориентированы вниз и не перекрываться другими компонентами. Такое расположение обеспечивает устойчивое приёмо-передающее взаимодействие с остальными маяками системы.

На рисунке 4.2 представлена итоговая фотография собранного корпуса с установленными элементами устройства.

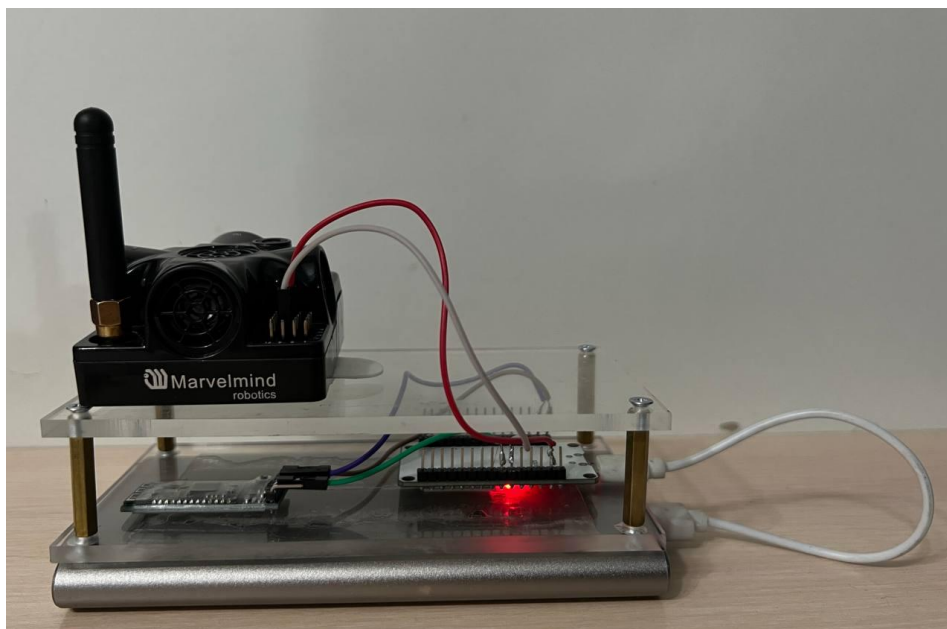


Рисунок 4.3 – Готовый корпус устройства мониторинга Wi-Fi сигналов

Для питания устройства используется пауэрбанк, закреплённый под нижней платформой с помощью двустороннего крепления. Это позволяет избежать лишней нагрузки на конструкцию и сохранить мобильность при эксплуатации.

4.4 Выводы по результатам проектирования и сборки

В результате выполнения этапа проектирования и сборки устройства были достигнуты все поставленные технические и конструктивные цели. Разработанная печатная плата позволила упорядочить размещение элементов, сократить длину соединительных проводов и повысить надёжность работы схемы за счёт пайки и оптимальной трассировки линий передачи данных.

Компактные габариты платы (10×4 см) были выбраны с учётом размеров корпуса и особенностей монтажа, что обеспечило удобство размещения устройства в условиях эксплуатации. Все элементы – микроконтроллер ESP32, Bluetooth-модуль HM-10 и контакты подключения мобильного маяка – были интегрированы с учётом требований по электропитанию, теплоотводу и устойчивости к внешним воздействиям.

Разработанный корпус из акрила не только обеспечивает защиту компонентов, но и способствует визуальному контролю работы системы благодаря прозрачной конструкции. Двухъярусная архитектура позволила разнести компоненты по уровням, минимизируя помехи и обеспечивая корректную работу антенн навигационного маяка.

Дополнительным подтверждением функциональности устройства стала полученная тепловая карта Wi-Fi покрытия, сформированная по результатам экспериментального прохода устройства в тестовой зоне. На данной карте, представленной на рисунке 4.3, визуализируются изменения уровня RSSI-сигнала в зависимости от координат, что позволяет наглядно оценить качество покрытия беспроводной сети в помещении и выявить зоны с пониженным уровнем сигнала. Этот результат демонстрирует применимость устройства для задач диагностики и анализа Wi-Fi инфраструктуры.

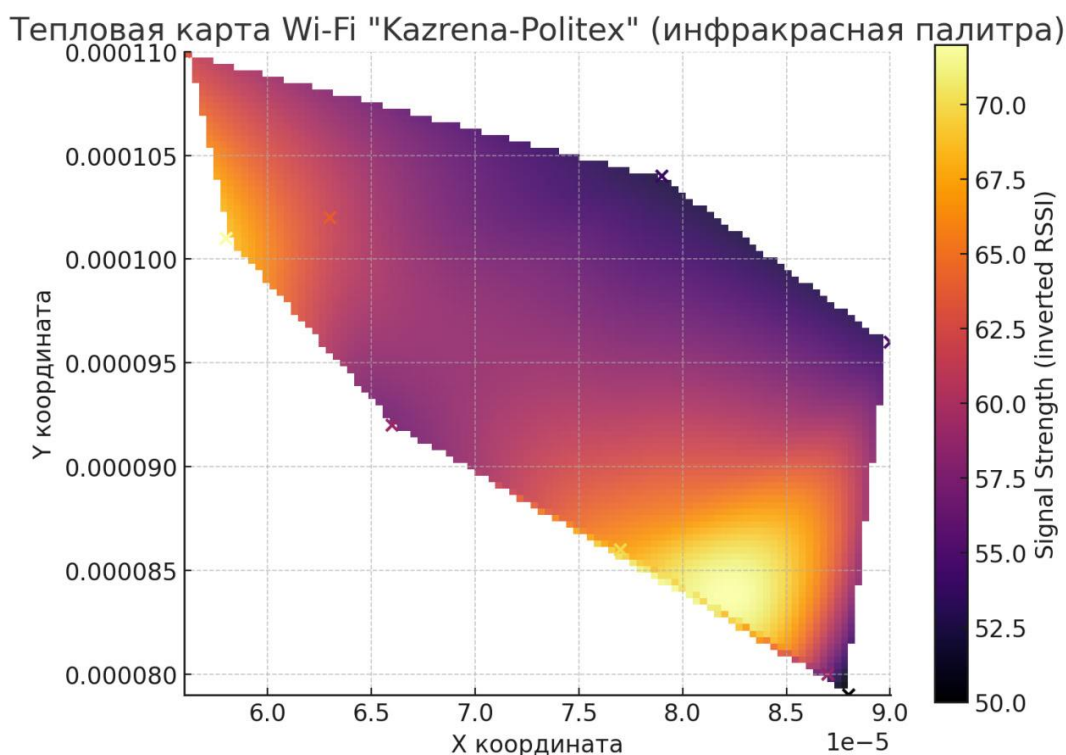


Рисунок 4.3 – Тепловая карта Wi-Fi сигнала, полученная с помощью собранного устройства

Разработка, сборка и тестирование устройства подтвердили его соответствие поставленным целям – мобильности, точности позиционирования и интеграции функциональных компонентов в компактном корпусе. Устройство готово к применению в учебных, офисных и производственных помещениях, а также может служить прототипом для дальнейшего расширения и доработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая выпускная квалификационная работа была посвящена разработке технологии картографирования уровня сигнала Wi-Fi в закрытых помещениях с применением модулей точного позиционирования. Основной целью исследования являлось создание мобильного устройства, обеспечивающего высокоточную пространственную привязку измерений мощности беспроводного сигнала для последующего анализа и оптимизации сетевой инфраструктуры.

В рамках выполненного исследования был проведён комплексный анализ существующих методов позиционирования в замкнутых пространствах. На основании сравнительной оценки по критериям точности, сложности реализации, устойчивости к помехам и затрат на оборудование, в качестве основы была обоснованно выбрана ультразвуковая система локализации MarvelMind. Благодаря своей архитектуре и высокой точности (до ± 2 см), она позволяет обеспечить надёжную пространственную идентификацию координат в условиях ограниченного доступа к глобальным навигационным системам.

В качестве вычислительного узла интегрированной системы выбран микроконтроллер ESP32-WROOM-32, обладающий необходимым набором аппаратных и коммуникационных возможностей: встроенные модули Wi-Fi и Bluetooth Low Energy, поддержка нескольких UART-интерфейсов, высокая производительность при низком энергопотреблении. Это позволило реализовать одновременно приём координатных данных, сканирование Wi-Fi сетей и передачу результатов на внешнее устройство.

В процессе разработки была реализована архитектура мобильного устройства, включающая модуль сбора координат, систему анализа параметров сигнала и беспроводной канал передачи данных. Разработана структурная схема, произведено проектирование печатной платы, сформирована конструкция корпуса устройства с учётом требований к размещению антенн, устойчивости к внешним воздействиям и мобильности. Особое внимание было уделено освоению и конфигурации ультразвуковой системы навигации, включая работу с программным обеспечением Dashboard, настройку субкарт и оптимизацию расположения стационарных маяков.

Экспериментальные испытания подтвердили корректную работу устройства, устойчивость передачи координатных и сигнальных данных, а также достаточную точность пространственного картографирования. Разработанная технология может быть применена в образовательных учреждениях, офисных и складских помещениях, торговых центрах – везде, где необходимо объективное оценивание и последующая оптимизация Wi-Fi покрытия.

В итоге, поставленные в работе цели достигнуты, задачи реализованы в полном объёме, а полученные результаты обладают практической значимостью и могут служить основой для последующего развития в направлениях масштабирования системы, интеграции с облачными сервисами и автоматизированной визуализации параметров беспроводной среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Москаленко Т. А., Киричек Р. В. Информационные технологии и телекоммуникации. – Санкт-Петербург: СПбГУТ, 2016. – С. 37–45.
- 2 Filonenko V., Cullen C., Carswell J. Indoor Positioning for Smartphones Using Asynchronous Ultrasound Trilateration // ISPRS International Journal of Geo-Information. — 2013. — Vol. 2, No. 3. — P. 598–620. — DOI: 10.3390/ijgi2030598.
- 3 Костыря А. А., Ливнов В. А. Математическое моделирование работы ультразвуковой высокоточной системы локального позиционирования // Вестник Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. — 2017. — № 1 (46). — С. 122–125.
- 4 Syazwani N., Zakaria M. A., Saad M. S. Indoor Positioning System using Ultrasonic Sensor / Universiti Teknologi Malaysia. — Johor Bahru, Malaysia, 2022. — 7 p.
- 5 Hashnode. Choosing the right microcontroller: a comparison of Arduino, ESP8266, ESP32, and STM32F4 series. Дата обращения: 16.05.2025. https://techcrusading.hashnode.dev/choosing-the-right-microcontroller-a-comparison-of-arduino-esp8266-esp32-and-stm32f4-series?utm_source
- 6 The Engineering Projects. What is a Bluetooth Module? Types, Working and Applications. Дата обращения: 15.04.2025. <https://www.theengineeringprojects.com/2024/02/what-is-a-bluetooth-module-types-working-and-applications.html>
- 7 Marvelmind Indoor Navigation System: Operating manual v2024_11_19. Дата обращения: 24.04.2025. https://marvelmind.com/pics/marvelmind_navigation_system_manual.pdf
marvelmind.com
- 8 ESP32 — Википедия. Дата обращения: 27.04.2025. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP32>
- 9 ESP32-WROOM-32 Datasheet Espressif Systems. — Дата обращения: 27.04.2025 https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf
- 10 Харламов М.И., Гончаровский О.В. Навигация автономного мобильного робота с помощью системы позиционирования MarvelMind // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. — 2015. — № 3. — С. 112–118.

Приложение А

Визуализация конфигурации навигационной системы



Рисунок А.1 – Интерфейс MarvelMind Dashboard с расстановкой маяков в помещении

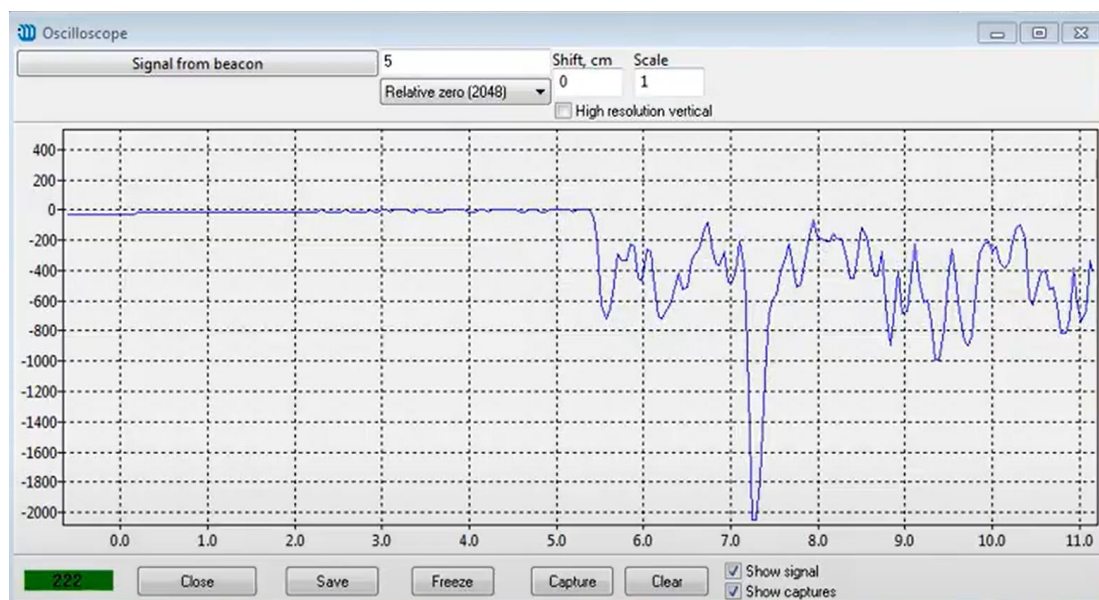
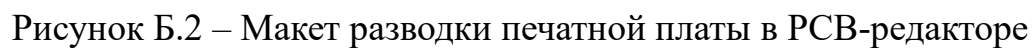
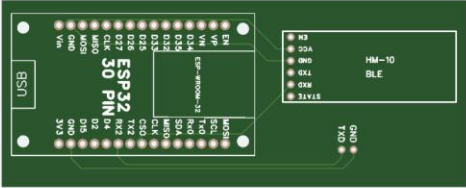
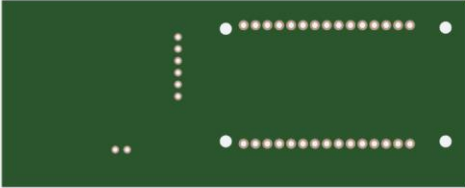


Рисунок А.2 – Осциллограмма ультразвукового сигнала

Проектирование печатной платы устройства



[← Back to Upload File](#)
Detected 2 layer board of 40x99.44mm(1.57x3.91 inches).
[Gerber Viewer](#)

Base Material

FR-4

Flex

Aluminum

Copper Core

Rogers

PTFE Teflon

Layers

1

2

4

High Precision PCB

6

8

10

12

14

16

More

Dimensions

99.44

*

40

mm

PCB Qty

5

Product Type

Industrial/Consumer electronics

Aerospace

Medical

Рисунок Б.3 – Загрузка Gerber-файла на платформу JLCPCB

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Тажимуратова Анель Жанайдаровна

6B06201 – Телекоммуникация

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

Тажимуратова Анель Жанайдаровна выполнила дипломную работу, представляющую практический интерес. Диплом представляет собой законченную работу, содержащую части, касающиеся технологий точного позиционирования, микропроцессорной техники, телекоммуникаций, электроники, информационных технологий. Анель 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 Тажимуратова Анель Жанайдаровна 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

Тажимуратова Анель Жанайдаровна

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 проведён анализ методов позиционирования, сравнение технологий и обоснование выбора компонентов системы (ультразвук, ESP32, Bluetooth).

Вторая глава посвящена структуре навигационной системы, её конфигурации и принципам работы.

В третьей описана реализация схемы, интерфейсов и беспроводного обмена данными.

Четвёртая глава охватывает проектирование печатной платы, сборку устройства и проверку его функционирования, включая получение реальных измерений Wi-Fi сигнала.

Работа выполнена с соблюдением ГОСТ, содержит графический и программный материал, отражает самостоятельный подход и инженерную проработку. Работа выполнена на хорошем инженерном уровне, успешно решены поставленные задачи по реализации и тестированию системы.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

1. Поверхностный сравнительный анализ и обоснование выбора технических решений: выбор микроконтроллера ESP32, Bluetooth-модуля HM-10 и ультразвуковой системы MarvelMind представлен в виде поверхностного перечисления преимуществ без детального сравнения с конкурентными современными решениями (например, UWB, STM32 с внешними модулями, ZigBee и более современные BLE-модули).
2. Отсутствие подробной проработки схемотехнических решений: разработанная принципиальная схема устройства не сопровождается расчетами электрических параметров (потребляемая мощность, длительность автономной работы, помехозащищенность линий связи).

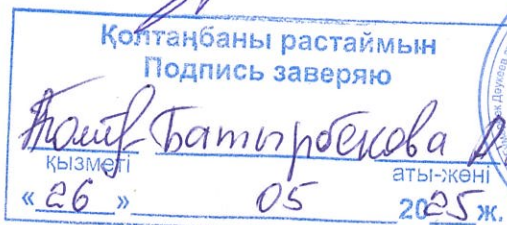
Оценка работы

Несмотря на замечания, дипломная работа оценена на 91(отлично), а студентка Тажимуратова Анель Жанайдаровна 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.



**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: Тажимуратова Анель Жанайдаровна

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

Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы

1-ұқсастық коэффициенті (30): 6.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 3.2

Дәйексөз (35): 3.9

Әріптерді ауыстыру: 0

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 2

Ақ белгілер: 4

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: Тажимуратова Анель Жанайдаровна

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: 6.6

Коэффициент Подобия 2: 3.2

Микропробелы: 2

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 4

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



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Тажимуратова Анель Жанайдаровна

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 Маркұлы

Коэффициент Подобия 1: 6.6

Коэффициент Подобия 2: 3.2

Микропробелы: 2

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 4

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:

Дата



проверяющий эксперт