Государственное автономное общеобразовательное учреждение

Московской области «Химкинский лицей»

**Исследовательская работа**

**Способы реализации построения 3D-карт и моделей помещений**

**Выполнили:**

*Ученики 10 класса*

***Собчук Олег***

***Редров Миша***

**Руководитель (руководители):**

*Учитель физики*

***Кислова Наталья Леонидовна***

Химки, 2024

Оглавление

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc163070207)

[ГЛАВА I: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 4](#_Toc163070208)

[1.1 Электромагнитное поле 4](#_Toc163070209)

[1.2 Характеристики волны 5](#_Toc163070211)

[1.3 Принцип действия радиолокационной станции 8](#_Toc163070217)

[ГЛАВА II: СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН 9](#_Toc163070218)

[ГЛАВА III: МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ 10](#_Toc163070219)

[3.1 Спектроскопия 10](#_Toc163070220)

[3.2 Радиолокация 10](#_Toc163070221)

[3.3 Channel State Information 11](#_Toc163070222)

[ГЛАВА IV: НЕЙРОННЫЕ СЕТИ 11](#_Toc163070223)

[4.1 Обработка сигналов при помощи нейросети 11](#_Toc163070224)

[4.2 Технические аспекты 12](#_Toc163070225)

[4.3 Технические проблемы 12](#_Toc163070226)

[4.4 Виды нейросетей, используемых в нашем проекте 12](#_Toc163070227)

[ГЛАВА V: ТАБЛИЦА АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ 14](#_Toc163070228)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 14](#_Toc163070229)

[ЛИТЕРАТУРА 16](#_Toc163070230)

# ВВЕДЕНИЕ

**Гипотеза:** Мы предполагаем, что использование Wi-Fi роутера для построения макета комнаты – реализуемая идея, которая неограниченна какой-либо сферой деятельности, так как обладает большим количеством разнообразных полезных опций.

**Цель проекта:** Изучить радиоволны и их схему работы, понять, как они устроены и как с помощью них можно визуализировать окружение вокруг с помощью Wi-Fi роутера.

**Актуальность:** Технология моделирования объектов по средствам использования радиоволн имеет большой функционал и потенциал развития в разных сферах деятельности и широко применимо в повседневной жизни.

**Проблема:** Традиционно, для построения 3D-моделей требуется использование сложного оборудования, такого как лазерное сканирование или стереофотограмметрия, что может быть дорого и сложно в применении. Однако, проект исследует подходы, который позволяет использовать сигналы Wi-Fi для построения 3D-карт или моделей объектов.

**Задачи проекта:**

1. Изучение радиоволн, их особенностей и устройства работы.
2. Анализ возможностей радиоволн.
3. Изучение принципа действия Wi-Fi роутера.
4. Поиск информации о возможности использования волн Wi-Fi роутера для построения 3D-моделей.
5. Рассмотрение возможности нейросетей в построении данных моделей, выявление лучших для этой задачи.
6. Описание процесса сбора, обработки и построения моделей.
7. Сравнить методы, о которых мы узнаем, выявив их достоинства и недостатки.

**Объект исследования:** Wi-Fi роутер.

**Предмет исследования:** Радиоволны.

**Методы:** Анализ и сравнение.

# ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ[2]

По представлениям Максвелла: при любом изменении электрического поля возникает вихревое магнитное поле и, наоборот, при любом изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле. Однажды начавшийся процесс взаимного порождения магнитного и электрического молей должен непрерывно продолжаться и захватывать все новые и новые области в окружающем пространстве. Процесс взаимопорождения электрических и магнитных полей происходит во взаимно перпендикулярных плоскостях. Всякое изменение напряженности электрического поля в какой-нибудь точке пространства вызывает в смежных точках появление переменного магнитного поля, изменение которого в свою очередь порождает меняющееся электрическое поле. Именно поэтому происходит передача колебаний электрического и магнитного полей из одной точки пространства в соседние, т. е. происходит распространение электромагнитной волны.

Электрические и магнитные поля могут существовать не только в веществе, но и в вакууме. Поэтому возможно распространение электромагнитных волн в вакууме.

Мы знаем, что электрическое поле создается электрически заряженными телами, а магнитное поле окружает проводники, по которым течет электрический ток (т. е. происходит перемещение электрических зарядов). Если электрические заряды неподвижны, то и создаваемое ими электрическое поле остается все время одним и тем же, не меняется. Если заряды движутся (например, в металлической проволоке) равномерно, то мы имеем постоянный ток, создающий постоянное же, не изменяющееся магнитное поле. Таким образом, в обоих случаях электрическое и магнитное поля неизменны, а значит, и электромагнитная волна возникнуть не может.

Но при неравномерном движении электрических зарядов, в частности при всяком их колебании, а значит, и при всяком переменном токе электрическое и магнитное поля будут меняться с течением времени; эти изменения передаются от точки к точке и, следовательно, распространяются во все стороны, образуя электромагнитную волну.

Таким образом для получения электромагнитных волн с помощью электрического контура, ток должен быть переменным. Также стоит заметить если колебательный контур представляет собой почти замкнутую цепь, размеры которой малы по сравнению с длиной волны, соответствующей частоте колебаний контура. То в такой цепи для каждого ее участка с одним направлением тока или знаком заряда можно подыскать другой близкий участок, в котором в тот же момент времени направление тока или знак заряда противоположны. Возьмем, например, один из витков катушки индуктивности. В любых диаметрально противоположных участках витка во всякий момент времени токи направлены противоположно друг другу. Следовательно, на больших расстояниях от витка эти участки действуют как два близких противофазных излучателя. Волны, излученные этими двумя участками, всюду ослабляют друг друга(интерференция). Так как весь виток состоит из таких пар противофазных излучателей, то и виток в целом излучает плохо, а значит, плохо излучает и вся катушка. Аналогично обстоит дело и с конденсатором контура: в любой момент времени заряды обкладок равны по модулю и противоположны по знаку, причем эти разноименные заряды удалены друг от друга гораздо меньше, чем на полволны.

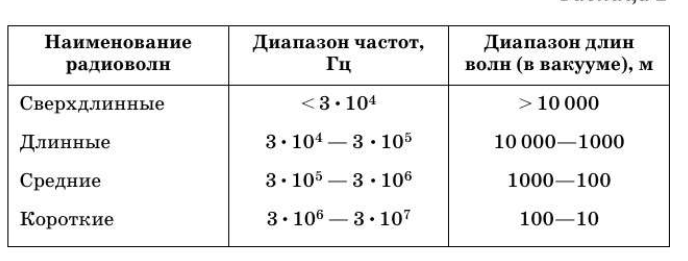
В следствие этого электрическая цепь, чтобы она могла хорошо излучать, должна быть незамкнутой (открытой) цепи, в которой либо нет участков с противофазными колебаниями, либо же расстояние между ними не мало по сравнению с длинной волны. Так мы перешли к антеннам, на роутере они и установлены.

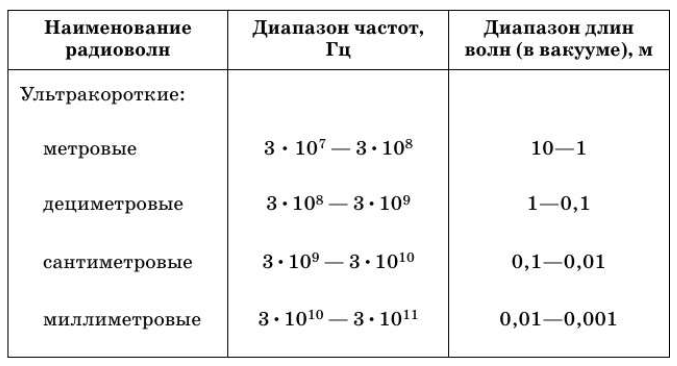
# 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНЫ

Электромагнитные волны подразделяются на множество видов, таких как радиоволны, инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое излучение, рентгеновские лучи, гамма-излучение. Остановимся на тех электромагнитных волнах, которые применяются для радиосвязи. Их называют радиоволнами и используют для радиолокации. Именно это нам и нужно.

Существует несколько видов радиоволн, разделенных по длине волны[1]:

Рисунок 1. Разделение волн по длине.





Частота – это количество колебаний или циклов, которые происходят за единицу времени. Она измеряется в герцах (Гц). Например, если волна имеет частоту 10 Гц, это означает, что за одну секунду происходит 10 полных колебаний.

Длина волны – это расстояние между двумя соседними точками на волне, которые находятся в одной фазе. Она обозначается символом λ (лямбда) и измеряется в метрах (м). Например, если длина волны равна 2 метрам, это означает, что расстояние между двумя соседними точками, находящимися в одной фазе, составляет 2 метра.

Частота и длина волны связаны между собой формулой:

c = λ \* f , где c – скорость распространения волны, λ – длина волны, f – частота.

Знание частоты и длины волны позволяет нам понять, как волны взаимодействуют с различными средами и объектами.

Скорость распространения волны – это скорость, с которой волна передвигается в среде. В вакууме скорость волн равна скорости света.

Электромагнитные волны излучаются колеблющимися зарядами. При этом их скорость движения со временем возрастает, то есть они движутся с ускорением. Наличие ускорения – главное условие излучения электромагнитных волн. Существует правило, что чем больше ускорение, тем больше интенсивность излученной волны.

# Свойства

* Преломление
* Поперечность
* Интерференция
* Дифракция
* Поглощение
* Отражение

Для простоты стоит пояснить, что свет является спектром частот электромагнитных волн (385-790)\*10^12 Гц и следственно свойства характерные для него характерны для всех электромагнитных волн.

- Преломление. При переходе из одной среды в другую у волны изменяет свое направление, другими словами, преломляются. Обе среды должны быть диэлектриками в противном случае среда начнёт поглощать волну.

- Поперечность. Это свойство, которое описывает направление колебаний электрического и магнитного поля во время распространения волны. В отличие от продольных волн, где колебания происходят вдоль направления распространения, поперечные волны имеют колебания, перпендикулярные направлению распространения.

- Интерференция. Явление наложения волн друг на друга, что приводит к устойчивому по времени усилению в одном месте и ослаблению в другом.

- Дифракция. Способность волн огибать препятствия.

- Рассеивание и поглощение. Это процесс, при котором энергия электромагнитных волн полностью или частично поглощается объектом и превращается в другие формы энергии, такие как тепло, электрический ток или электромагнитные волны. Происходит это из-за наличия у вещества электронов. Зависимость поглощения от частоты волны определяется спектром поглощения вещества.

Спектр поглощения — зависимость показателя поглощения вещества от длины волны (или частоты, волнового числа, энергии кванта и т. п.) излучения. Он связан с энергетическими переходами в веществе. Для различных веществ спектры поглощения различны. Спектры поглощения веществ активно используются в некоторых методах спектроскопии.  
 - Отражение. Это изменение направления распространения электромагнитной волны на границе двух сред, при котором волна, падающая на границу раздела, частично или полностью возвращается в первую среду.

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ[1]

Рисунок 2. Принцип действия радиолокационной станции.



На рисунке показана работа радиолокационной станции в самых общих чертах. Если говорить более подробно, то в момент отправления передатчиком импульса антенный переключатель переключает антенну на режим “передача”. Одновременно с посылкой импульса подаётся кратковременный сигнал на вертикально отклоняющие пластины индикатора и равномерно нарастающее пилообразное напряжение на горизонтально отклоняющие пластины этой трубки. Вследствие этого на экране появляется всплеск около нулевой отметки шкалы дальности. Электронный луч за промежуток времени между импульсами под воздействием пилообразного напряжения равномерно движется по экрану индикатора.

После отправления импульса антенный переключатель соединяет антенну с приёмником. Отражённый от препятствия сигнал принимается антенной, многократно усиливается и подаётся на вертикально отклоняющие пластины той же трубки. Получается вторичный вертикальный всплеск на определённом расстоянии от первого. Зная скорость движения электронного луча в трубке, можно определить время t прохождения радиоволн от антенны до цели и обратно. Так как скорость радиоволн с = 3 • 105 м/с в атмосфере практически постоянна, то расстояние по лучу от антенны до цели.

Расстояние между всплесками на экране индикатора пропорционально времени t прохождения сигнала и, следовательно, пропорционально расстоянию R до цели. Это позволяет проградуировать шкалу непосредственно в километрах. Для определения направления на искомый объект антенна делается подвижной и способной поворачиваться в любом направлении. Зная ориентацию антенны во время обнаружения цели, определяют координаты цели. Изменение с течением времени этих координат даёт возможность определить скорость цели и рассчитать её траекторию.

# СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Отражение. Закон отражения гласит, что угол падения равен углу отражения. Это свойство используется для определения местоположения и формы объектов, поскольку отраженный сигнал несет информацию о расстоянии до объекта и его геометрии. Рассчитываемые из угла(Angle of Arrival, AoA) времени прилёта волны(Time of Arrival, ToA) и силы сигнала(Received Signal Strength Indicator, RSSI).

Интерференция. Отражаясь, волны создают интерференционные картины, которые содержат информацию о фазе и амплитуде волн, изменяющихся в зависимости от расстояния до отражающих объектов и их свойств. Это используется для определения расстояния до объектов и их свойств.

Рассеивание и поглощение. Эти свойства используются для получения информации о расположении и свойствах объектов в помещении, благодаря анализу изменения амплитуд, частот и фаз, а также многолучевого распространения. Например, если известно, как определенный материал поглощает или рассеивает электромагнитные волны, можно использовать изменения в сигнале Wi-Fi для определения наличия и возможно формы объектов из этого материала. Это требует сложной обработки сигналов и алгоритмов для интерпретации изменений в сигнале, вызванных поглощением и рассеянием.

Дифракция. Когда электромагнитные волны, встречают на своем пути препятствия, они могут изменить направление распространения, когда обходят края препятствий или проходят через узкие отверстия. Размер дифракционного эффекта зависит от размера препятствия по сравнению с длиной волны сигнала. В случае Wi-Fi, длина волны составляет несколько сантиметров, что означает, что дифракция становится заметной на краях объектов сравнимого размера.

Это явление можно использовать для определения наличия и, в некоторой степени, формы объектов. Например, если волна дифрагирует вокруг угла стены, это изменит характеристики сигнала, который можно затем обнаружить и измерить. Таким образом, дифракция может предоставить информацию о контурах и возможно даже о текстуре объектов.

Доплеровский эффект. Это изменение частоты волны, воспринимаемое наблюдателем, когда источник волны движется относительно наблюдателя. Если объект приближается, частота отраженной волны увеличивается; если удаляется, то уменьшается. Этот эффект используется в радарах для определения скорости объектов.

Теперь, когда мы обо всем узнали, на основе собранных данных, пора перейти к способам реализации нашей задумки.

# МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ

1. СПЕКТРОСКОПИЯ

Метод анализа веществ, основанный на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. В спектроскопии изучается спектр поглощения, испускания или рассеяния света (или другого излучения) веществом. Это позволяет определить химический состав, структуру молекул, физические свойства и процессы на молекулярном и атомном уровне. Спектроскопия может использовать радиоволны.

Wi-Fi сигналы распространяются от передатчика и отражаются от объектов, стен и других препятствий, прежде чем они будут уловлены приемником. Анализируя, как эти сигналы изменяются из-за отражений, можно собрать информацию о форме и расположении объектов в пространстве.

1. РАДИОЛОКАЦИЯ

Метод обнаружения, отслеживания и картографирования объектов с помощью радиоволн. Роутер излучает радиоволны и анализирует отраженные сигналы от объектов. Это позволяет определить расстояние до объекта, его скорость, направление движения и даже форму. Радиолокация имеет широкое применение.

Небольшое сравнение спектроскопии и радиолокации:

1) Для чего используется:

- Спектроскопия используется для анализа химического состава и молекулярной структуры веществ.

- Радиолокация используется для обнаружения и отслеживания физических объектов.

2) На чем основан метод:

- Спектроскопия основана на взаимодействии излучения с веществом и анализе изменений в спектре излучения.

- Радиолокация основана на излучении радиоволн и анализе отраженных сигналов.

Таким образом спектроскопия хоть и применима в построении 3D карт объектов, но обладает меньшей точностью и более сложна.

Так что лучше остановимся на радиолокации. Она в свою очередь подразделяется на такие методы как:

- Радиотомография: Использует различия в силе сигнала, проходящего через разные материалы, для создания изображения.

- Радиочастотное отображение: Анализирует отраженные и рассеянные радиоволны для определения формы и расположения объектов.

- Wi-Fi маппинг: Использует алгоритмы для интерпретации изменений в сигнале Wi-Fi, вызванных взаимодействием с окружающими объектами.

Однако на практике создание 3D-карт с использованием радиолокации, в особенности интерференции, и одного Wi-Fi роутера представляет собой сложную задачу. Проблемы включают в себя необходимость точного измерения фазы волн, влияние шума и многолучевого распространения, а также сложность интерпретации данных в динамичной среде, где объекты могут перемещаться или изменяться.

Для более точного и надежного построения 3D-карт обычно используются более сложные системы, включающие множество датчиков или роутеров, расположенных в разных точках помещения, чтобы собрать более полную информацию о распространении волн и их взаимодействии.

Также стоит отметить, что здесь есть ряд технических сложностей, таких как необходимость различения рассеянных сигналов от фонового шума, многолучевого распространения и динамических изменений в среде. Кроме того, для обработки и интерпретации данных требуются сложные алгоритмы и мощные вычислительные ресурсы.

# CHANNEL STATE INFORMATION

Channel State Information (CSI) представляет собой информацию о состоянии канала связи, которая может быть использована для различных целей в беспроводных сетях. CSI содержит данные о том, как сигнал распространяется от передатчика к приемнику, включая эффекты, такие как замирание, затухание и время задержки.

В контексте построения 3D-карт, CSI может быть использована для оценки расстояния и определения положения объектов в пространстве. Например, методы, основанные на CSI, могут использоваться для создания карты помещения, где Wi-Fi сигналы отражаются от стен и предметов, позволяя определить их местоположение и форму.

# НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

# ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОСЕТИ

Так как вручную обрабатывать принятые сигналы будет сложно, а, следовательно, мы воспользуемся помощью компьютера, а именно нейросети. Она с легкостью сможет проанализировать все сигналы, благодаря чему можно будем построить 3D-макет комнаты и объектов внутри него. Сейчас мы поведаем вам о технических аспектах данного метода обработки. Заранее скажем, что здесь рассматривается только момент принятия и обработки данных.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

* Сбор данных: Для начала, как бы не было странно, нужно принять данные для последующей обработки. Необходимо установить специальные точки доступа в разных точках комнаты и провести сбор данных о полученных сигналах Wi-Fi. Эти данные будут включать информацию о мощности сигналов, временных задержках, амплитуде и других характеристиках.
* Предобработка данных: Собранные данные будут содержать шумы, искаженности и прочие помехи. Предобработка данных включает в себя фильтрацию, устранение аномалий и нормализацию сигналов для улучшения качества анализа нейросети.
* Архитектура нейросети: Лучше всего будет использовать сверточные нейронные сети (CNN) в сочетании с рекуррентными нейронными сетями (RNN). Сверточные будет анализировать пространственные особенности сигналов, а RNN будет учитывать временные зависимости и последовательности данных.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

* Точность: Одной из главных проблем будет достижение высокой точности при конструировании моделей. Нейросеть должна четко интерпретировать сложные сигналы Wi-Fi, влияние стен и прочих помех.
* Доступность данных: Сбор большого объема данных может быть сложной задачей, требующей времени и ресурсов. Поэтому нужно либо хорошо обучить нейросеть, либо найти хорошо обученную, иначе она будет менее эффективной.
* Техническая реализация: Реализация нейросети для построения моделей требует глубокого понимания сигналов Wi-Fi и радиоволн в целом, алгоритмов обработки данных и архитектур нейронных сетей.

# ВИДЫ НЕЙРОСЕТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В НАШЕМ ПРОЕКТЕ

Сверточные нейросети, или CNN, это особый вид искусственных нейронных сетей, которые очень хорошо подходят для анализа визуальных данных, например, изображений. Они называются "сверточными" из-за особого типа слоя, который они используют, называемого сверточным слоем. Этот слой работает как фильтр, который сканирует изображение и выделяет важные черты, такие как линии, углы и контуры.

В сверточных нейросетях есть несколько слоев, и каждый следующий слой способен распознавать всё более сложные и абстрактные паттерны на основе информации, полученной от предыдущих слоев. После сверточных слоев обычно идут слои подвыборки, которые уменьшают размерность данных, сохраняя при этом важные признаки. Это помогает сети быть более эффективной и уменьшить количество необходимых вычислений.

В конце концов, после нескольких таких сверточных и подвыборочных слоев, информация, которая была извлечена из изображения, передается в полносвязные слои, которые работают как классические нейронные сети, чтобы принять решение о том, что изображено на картинке или какой класс объекта представлен.

Сверточные нейросети особенно популярны в компьютерном зрении, но их применяют и в других областях, где нужно анализировать данные с пространственной структурой. Например, в нашем проекте.

Рекуррентные нейронные сети, или RNN, это тип искусственных нейронных сетей, которые особенно хорошо подходят для работы с последовательностями данных, такими как тексты, временные ряды, или даже музыка. Основная особенность RNN в том, что они имеют "память", благодаря которой могут учитывать предыдущую информацию при обработке новых данных. Это, как если бы сеть помнила предыдущие части предложения, когда пытается понять следующее слово.

В рекуррентных сетях информация передается от одного шага к последующему, что позволяет сохранять контекст и учитывать его при анализе каждого нового элемента последовательности. Это делает их идеальными для задач, где важно знать историю или порядок событий, например, при генерации текста, машинном переводе или предсказании следующей ноты в мелодии.

Однако у классических RNN есть проблема с обучением на длинных последовательностях, так как со временем они начинают забывать важную информацию. Чтобы решить эту проблему, были разработаны более продвинутые версии RNN, такие как LSTM (Long Short-Term Memory) и GRU (Gated Recurrent Unit), которые лучше сохраняют информацию на протяжении длинных последовательностей и более эффективны в обучении. Это как раз-таки подходит нам для построения пространственных карт.

# 

# ГЛАВА V: ТАБЛИЦА АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ

Таблица 1. Сравнение всех представленных методов по 4 основным характеристикам.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Методы  Критерии | Радиолокация (с 1 роутером) | CSI (с 1 роутером) | Спектроскопия |
| Данные | Использует отраженные радиочастотные сигналы для сбора информации о пространстве. | Собирает информацию о состоянии канала связи, включая амплитуду и фазу сигнала. | Анализирует изменения в спектре Wi-Fi сигналов, вызванные взаимодействием с материалами. |
| Точность | Может быть достаточно точной для определения присутствия и движения объектов, но менее точной для детализированного 3D-моделирования. | Предоставляет высокую точность в определении положения и движения объектов для создания 3D-карт. | Точность сильно зависит от сложности окружающей среды и взаимодействия с разными материалами. |
| Сложность | Требует сложной обработки сигналов и алгоритмов для интерпретации данных. | Требует специализированного программного обеспечения для анализа CSI данных, но методы становятся более доступными. | Высокая сложность из-за необходимости точного анализа спектральных изменений. |
| Применение | Подходит для систем безопасности и навигации в условиях ограниченной видимости. | Используется для детального мониторинга помещений, обнаружения движения и навигации внутри зданий. | Теоретически может использоваться для идентификации материалов, но на практике сложно применить с Wi-Fi роутером. |

# 

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведя исследование, мы выяснили, что создание 3D-карт с помощью Wi-Fi-роутера возможно, что подтверждает нашу гипотезу. Также мы выявили, что использование спектроскопии среди всех представленных вариантов наименее эффективное, в отличие от радиолокации и CSI. Но что же насчет лучшего? Мы считаем, что использование радиолокации сложнее, так как зависит от множества условий и оборудования, которые на прямую влияют на точность построения 3D-карт.

Каждый из этих методов имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор метода зависит от конкретных требований к точности, сложности и сфере применения. CSI представляется наиболее универсальным и практичным для построения 3D-карт с помощью Wi-Fi роутера, благодаря своей точности и развивающимся методам анализа.

# ЛИТЕРАТУРА

1. Физика углубленный уровень 11 класс. Колебания и волны: Учеб. пособие / Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков. -- 7-е издание, стереотипное. -- Москва : DРОФА, 2019 -- 279 c.
2. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие. В 3 т. / Под ред. Г.С.Ландсберга: Т. III. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика.--11-е изд.--М.: Наука. Физматлит, 1995.--656 с.--ISBN 5-02-015199-8 (T. III)
3. Иванов В. К. Физика. Электромагнитные волны: учеб. пособие / В.К.Иванов – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 208 с -- URL: <https://physics.spbstu.ru/userfiles/files/chapter1_introduct_electro_magneto_waves_less.pdf>
4. Wi-Fi роутер научили обнаруживать людей в комнате. // Jiaqi Geng, Dong Huang, Fernando De la Torre // Блог компании Cloud4Y - 2013. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система "Хабр". – URL: <https://habr.com/ru/companies/cloud4y/articles/712640/>
5. Подсчет людей по WiFi // Блог компании ITSOFT - 2021. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система "Хабр". – URL: <https://habr.com/ru/news/580436/>
6. Нейросеть для построения 3D карт комнат на основе сигналов WiFi – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система "Web3Day". – URL: <https://web3day.ru/nejroset-dlya-postroeniya-3d-kart-komnat-na-osnove-signalov-wifi/>
7. Исследователи научились «видеть» людей через стены при помощи Wi-Fi // Елена Лиханова // Rusbase - 2023. – URL: <https://rb.ru/story/wifi-to-see-through-walls/>
8. Wi-Fi трекинг активов и объектов внутри помещений// Vlad de Armas - 2022 // Навигационные решения : офиц. сайт – URL: <https://nvgn.ru/blog/wi-fi-treking-aktivov-i-obektov-vnutri-pomeshhenij/>
9. Wi-Fi для внутреннего позиционирования // INDOORS navigation : офиц. сайт. – URL: <https://indoorsnavi.pro/wifi-dlya-vnutrennego-razmeshcheniya/>
10. IEEE: Сигналы Wi-Fi могут распознавать фигуры сквозь стены // Посметный Максим // IEEE Xplore - 2023. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система "involta". – URL: <https://involta.media/post/ieee-signaly-wi-fi-mogut-raspoznavat-figury-skvoz-steny>
11. Обзор методов локального позиционирования объектов в Wi-Fi-сетях// Богуренко П.А., Бурлаков М.Е - 2017. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система "Cyberlenika". – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-lokalnogo-pozitsionirovaniya-obektov-v-wi-fi-setyah>
12. Как работает Wi-fi. Часть 2. Физический уровень // Блог компании Timeweb Cloud - 2022. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система "Хабр". – URL: <https://habr.com/ru/companies/timeweb/articles/677452/>
13. Как возникают электромагнитные волны // Ермоленко Игорь - 2021. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система "Хабр". – URL: <https://habr.com/ru/articles/538070/>
14. Взаимодействие вещества с электромагнитным излучением. Явление поглощения, испускания, флуоресценции, рассеяния и др. // Казанский национальный исследовательский технологический университет - 2019. – Текст : электронный // Файловый архив студентов "StudFiles" – URL: <https://studfile.net/preview/9758296/page:14/>
15. Введение в спектроскопию для учебных лабораторий // Ocean Insight - Оптико-электронные компоненты для спектроскопии : офиц. сайт. – URL: <https://oceanoptics.ru/spectrometers/54-ooilabbook.html>
16. Отражение и преломление электромагнитных волн // Московский государственный физико-технический университет (МФТИ). - 2016. – Текст : электронный // Файловый архив студентов "StudFiles" – URL: <https://studfile.net/preview/6268702/page:12/>
17. Радиоспектроскопия, ядерный магнитный и электронный парамагнитный резонансы // Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации - 2015. – Текст : электронный // Файловый архив студентов "StudFiles" – URL: <https://studfile.net/preview/3536009/page:21/>