

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ: ТЕХНОЛОГИЯ 5G И ЕЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Юркевич К. А., Рыльков И. Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Республика Беларусь*

Смирнова Г.Ф. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. Данная статья посвящена физическим аспектам технологии 5G в современных телекоммуникациях. Исследование включает в себя анализ частотных диапазонов, множественного доступа, использование антенн и Massive MIMO, роль миллиметровых волн, вопросы безопасности и излучения, а также использование принципов физики для оптимизации сетей.

Ключевые слова. Радиочастотная идентификация, RFID-система, RFID-метка, бесконтактная карта. Электромагнитные волны, 5G, частотные диапазоны, множественный доступ, OFDMA, Massive MIMO, миллиметровые волны, безопасность, физика телекоммуникаций, спектральное использование.

На сегодняшний день электромагнитные волны занимают ключевое место в жизни человека. Хоть люди и не способны их увидеть, но используют они их каждый день: созваниваясь с родными, слушая музыку, наблюдая за любимой командой по телевизору, подогревая еду в микроволновке. Поэтому не стоит недооценивать влияние электромагнитных волн в современном мире. Одной из новейших технологий, использующей электромагнитные волны является технология 5G. Но что это такое и как оно работает? Каким законам подчиняется? И с помощью каких принципов физики была разработана?

В сфере телекоммуникаций 5G – это технологический стандарт пятого поколения для сотовых сетей, который компании сотовой связи начали внедрять во всем мире в 2019 году, и является преемником технологии 4G, обеспечивающей подключение большинства

современных мобильных телефонов. 5G может быть реализован в низкочастотном, среднем или высокочастотном диапазоне миллиметровых волн. Низкочастотный диапазон 5G использует тот же диапазон частот, что и мобильные телефоны 4G, 600–900 МГц, что потенциально может обеспечить более высокую скорость загрузки, чем 4G: 5–250 мегабит в секунду (Мбит/с). Вышки низкочастотной сотовой связи имеют радиус действия и зону покрытия, аналогичные вышкам 4G. В средней полосе 5G используются микроволны с частотой 1,7–4,7 ГГц, обеспечивающие скорость 100–900 Мбит/с, при этом каждая вышка сотовой связи предоставляет услуги в радиусе до нескольких километров. Этот уровень обслуживания является наиболее широко распространенным и был развернут во многих мегаполисах в 2020 году. В некоторых регионах нижний диапазон не реализуется, что делает средний диапазон минимальным уровнем обслуживания. Ниже представлена вышка 5G.

Одной из важнейших характеристик технологии 5G является использование высоких частот, в том числе миллиметровых волн, для передачи данных. Этот подход обеспечивает несколько физических и технических особенностей, которые способствуют улучшению производительности и возможностей сети. Миллиметровые волны относятся к частотному диапазону от 30 ГГц до 300 ГГц. По сравнению с частотами, используемыми в предыдущих поколениях мобильной связи (например, 4G использует диапазон до 6 ГГц), миллиметровые волны обладают более высокой частотой. Это позволяет 5G использовать более широкий спектр радиочастот и поддерживать больше устройств и передачу данных.



Рисунок 1 – вышка 5G

Однако миллиметровые волны более сильно поглощаются атмосферой и препятствиями в окружающей среде, такими как дождь и листва деревьев. Из-за этого дальность передачи миллиметровых волн ограничена, и они имеют тенденцию слабо проникать через стены и другие препятствия. Это обстоятельство требует более плотного размещения базовых станций для обеспечения покрытия сети. Высокие частоты миллиметровых волн позволяют использовать более широкие полосы частот, что в свою очередь увеличивает пропускную способность сети. Широкополосная передача данных обеспечивает более высокие скорости передачи данных, что особенно важно для поддержки высоконагруженных сетей и новых технологий, таких как виртуальная реальность. Высокочастотный диапазон 5G использует частоты 24–47 ГГц, близкие к нижней части диапазона миллиметровых волн, хотя в будущем могут использоваться и более высокие частоты. Он часто достигает скорости загрузки в диапазоне гигабит в секунду (Гбит/с), сравнимой с интернет-услугами по коаксиальному кабелю. Однако миллиметровые волны (ммволны или ммВт) имеют более ограниченный диапазон и требуют множества небольших ячеек. Им могут препятствовать или блокировать материалы стен, окон или пешеходы. Из-за их более высокой стоимости планируется развертывать эти ячейки только в густонаселенных городских условиях и в местах скопления людей, таких как спортивные стадионы и конференц-центры. Вышеуказанные скорости достигнуты в ходе реальных испытаний в 2020 году, и ожидается, что во время развертывания скорости будут увеличиваться. Диапазон частот от 24,25 до 29,5 ГГц является наиболее лицензированным и используемым диапазоном спектра 5G миллиметрового диапазона в мире.

Для того, чтобы множество устройств могли одновременно использовать один и тот же радиочастотный ресурс используется множественный доступ (Multiple Access, MA). Эта технология играет ключевую роль в эффективном управлении сетевыми ресурсами, обеспечивая высокую пропускную способность и поддерживая множество устройств в одной и

той же сети. В 5G применяются различные методы множественного доступа, такие как OFDMA, SC-FDMA и NOMA.

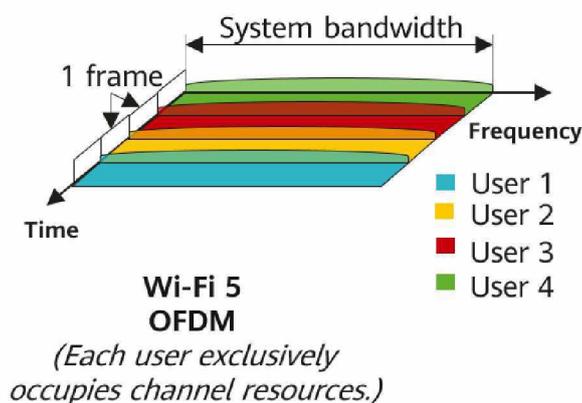


Рисунок 2 – метод OFDMA

Ортогональное частотное разделение (OFDMA) является одним из основных методов множественного доступа в технологии 5G. Этот метод основан на использовании ортогональных поднесущих, что позволяет различным устройствам одновременно передавать данные на одной и той же частоте, избегая взаимных помех. OFDMA обеспечивает эффективное использование частотного спектра и поддерживает высокую степень параллелизма в передаче данных.

Важным аспектом физики технологии 5G является использование технологии множественных волн (множественное деление канала) и MIMO (множественный вход, множественный выход). Massive MIMO (massive multiple-input multiple-output) – это тип технологии беспроводной связи, в которой базовые станции оснащены очень большим количеством антенных элементов для улучшения спектральной и энергетической эффективности. Массивные системы MIMO обычно имеют десятки, сотни или даже тысячи антенн в одной антенной решетке. Другие технологии, такие как формирование луча и пространственное мультиплексирование, делают массивный MIMO одной из ключевых технологий для систем 5G NR.

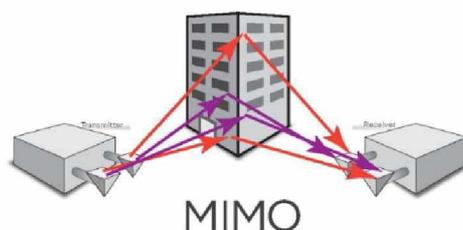


Рисунок 3 – технология MIMO

Технология множественных волн позволяет одновременно передавать несколько потоков данных в одном частотном диапазоне. Это достигается разделением физического канала на несколько подканалов, что обеспечивает одновременное использование частотного ресурса различными устройствами или пользователями. Такой подход повышает емкость сети, позволяя эффективнее использовать радиочастотный спектр. Технология MIMO, в свою очередь, включает в себя использование нескольких антенн на передающей и приемной стороне для одновременной передачи и приема данных. Это увеличивает эффективность использования радиочастотного канала и повышает стабильность передачи данных. Реализуются различные конфигурации MIMO, такие как 2x2, 4x4, и 8x8, указывающие на количество антенн на передающей и приемной стороне. Физический принцип множественных волн и MIMO заключается в пространственном, частотном и временном разделении. Пространственное разделение позволяет выделять пространственные каналы между антеннами, частотное разделение обеспечивает эффективное использование частот, а временное разделение разделяет временные слоты для передачи данных. Эти технологии приносят несколько преимуществ, таких как увеличение пропускной способности сети,

повышенная эффективность спектра и улучшенная устойчивость передачи данных. Вместе они обеспечивают высокую производительность 5G сетей и поддерживают множество устройств в условиях растущей мобильности и объема данных.

Радиочастотная аутентификация (RFID) в контексте 5G представляет собой эффективный механизм обеспечения безопасности и идентификации устройств в беспроводных сетях. Она используется для проверки подлинности и авторизации устройств, обеспечивая надежную связь в сетях нового поколения. Вот несколько ключевых аспектов радиочастотной аутентификации в 5G.

Таблица 1 – Ключевые аспекты радиочастотной аутентификации в 5G

№	Аспект	Описание
1	Система сеансового ключа	В 5G осуществляется использование сеансового ключа для обеспечения безопасности передачи данных между устройством и сетью. Сеансовый ключ генерируется и обновляется в ходе коммуникации, минимизируя риски в случае компрометации ключа.
2	Протоколы безопасности	5G внедряет современные протоколы безопасности, такие как EAP (протокол расширенной аутентификации), который позволяет безопасно обмениваться данными и осуществлять аутентификацию между клиентом и сетью.
3	Процедуры идентификации устройств	Радиочастотная аутентификация включает в себя процедуры идентификации устройств, использующих уникальные идентификаторы и сертификаты. Эти меры помогают предотвращать несанкционированный доступ и атаки.
4	Использование цифровых сертификатов	В 5G устройства могут использовать цифровые сертификаты для подтверждения своей подлинности перед взаимодействием с сетью. Эти сертификаты обеспечивают электронную форму удостоверения легитимности устройства.
5	Защита от атак	Радиочастотная аутентификация в 5G включает механизмы защиты от различных видов атак, таких как атаки отказа в обслуживании (DoS) или атаки перехвата. Применение криптографических методов обеспечивает конфиденциальность и целостность передаваемых данных.
6	Поддержка технологии SIM (Subscriber Identity Module)	Технология SIM-карт в 5G также играет важную роль в аутентификации устройств. Она предоставляет уникальный идентификатор и хранит информацию о подписчике, способствуя безопасному идентифицированию устройства в сети.
7	Гибкость и масштабируемость	Радиочастотная аутентификация в 5G обладает гибкостью, что позволяет адаптировать процессы аутентификации к различным уровням безопасности. Это важно для обеспечения эффективности и надежности сетей в условиях динамичного и разнообразного использования.

В целом, радиочастотная аутентификация в 5G играет ключевую роль в обеспечении безопасности сети и данных, предоставляя эффективные механизмы идентификации и аутентификации устройств в беспроводных коммуникациях нового поколения.

Для оптимизации передачи данных, снижения помех и повышения эффективности использования радиочастотного спектра применяются различные физические принципы.

Таблица 2 – Основные физические принципы технологии 5G

№	Принцип	Описание	Применение
1	Дифракция и Рассеивание	Волны в 5G испытывают дифракцию и рассеивание при прохождении через	Использование этих физических явлений позволяет улучшить покрытие внутри помещений и в условиях городской среды,

		препятствия, такие как здания и рельеф местности.	где прямая видимость между устройствами и базовыми станциями ограничена.
2	Рефлексия	Волны могут отражаться от поверхностей зданий, земли и других объектов.	Оптимизация направления антенн для учета отраженных сигналов помогает уменьшить зоны тени и обеспечивает лучшее покрытие в городской среде и местах с комплексным рельефом.
3	Множественный доступ и MIMO	Использование множественного доступа и технологии MIMO позволяет увеличить пропускную способность и улучшить качество связи за счет эффективного использования пространственных и временных ресурсов.	Разделение каналов и использование нескольких антенн на приемной и передающей сторонах помогает справляться с интерференциями и повышать эффективность передачи данных.
4	Управление радиочастотным спектром	Использование различных частот в радиочастотном спектре с учетом их характеристик, таких как проникновение через стены или дальность передачи.	Выбор подходящих частотных диапазонов для конкретных условий помогает оптимизировать покрытие и качество связи.
5	Управление интерференциями	Использование методов управления интерференциями, таких как смещение частоты (frequency hopping) и алгоритмы управления мощностью.	Эти методы помогают уменьшить воздействие мешающих сигналов и повысить стабильность связи.
6	Согласование сигналов	Согласование сигналов для предотвращения их взаимного влияния и повышения качества передачи данных.	Использование передовых методов согласования позволяет эффективно управлять пересекающимися сигналами и повысить производительность сети.

Таким образом технология 5G действительно является передовой и требует к себе внимания. Она содержит огромное число преимуществ по отношению к предыдущим технологиям сотовой связи. Разработка имеет такие функции, как использование высоких частот, применение различных методов множественного доступа, ортогонального частотного разделения, технологии Massive MIMO, радиочастотных аутентификаций. Будущее интернет-сетей несомненно за технологией 5G, ведь она включает в себя совершенно новые технологии, которые совершенствуют и развивают сотовую связь и облегчают удаленное использование мобильных устройств и компьютеров. Разработка в этой области до сих пор проводится, что делает сеть только удобнее, функциональнее для пользователя. Не стоит недооценивать роль физических исследований в сфере 5G, так как огромные человеческие и материальные ресурсы задействованы в этом процессе.

Список использованных источников:

1. Что такое 5G? [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://aws.amazon.com/ru/what-is/5g>
2. What is OFDMA? [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/OFDMA.html>
3. MIMO [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://ru.wikipedia.org/wiki/MIMO>