

5G



АНАЛИТИЧЕСКИЙ
ДОКЛАД

Первые шаги в 5G

Проектирование новых средств радиосвязи стандарта
5G New Radio – проблемы и пути решения

Часть 3. MIMO и формирование диаграммы направленности антенны

Рассматривая технологии 5G, чаще всего обсуждаются проблемы, связанные с MIMO (множественный ввод-вывод), управлением лучом и формированием диаграммы направленности антенны. Успешное решение этих проблем позволит повысить скорость передачи данных в 100 раз и пропускную способность в 1000 раз в соответствии с концепцией оперативной группы по сетевым аспектам IMT-2020. Согласно **отчету компании Ericsson Mobility¹** (ноябрь 2017 г.), мобильный трафик ежегодно возрастает примерно на 65 %, а ожидаемый среднегодовой темп роста составляет 42 %. Прогнозируется, что к 2023 году число абонентов мобильной связи достигнет 9,1 миллиарда, 1 миллиард из которых будет использовать улучшенный мобильный широкополосный доступ 5G.



С внедрением
технологии MIMO
при проектировании
устройств возникают
следующие 3 проблемы:

1. Проверка трёхмерной диаграммы направленности антенны
2. Подтверждение целостности канала миллиметрового диапазона
3. Оптимизация характеристик абонентского устройства для реальных условий эксплуатации



1. <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2017/ericsson-mobility-report-november-2017.pdf>

MIMO – один из лучших способов повышения пропускной способности и эффективности сети. Многоантенные технологии для абонентских устройств должны обеспечивать работу в нескольких частотных диапазонах – до 6 ГГц и в миллиметровом диапазоне длин волн, – а также поддерживать множество сценариев и массовые соединения устройств Интернета вещей (IoT-устройств) при максимальной пропускной способности. При реализации MIMO в устройствах 5G разработчики сталкиваются с новыми проблемами, включая необходимость проверки трёхмерной диаграммы направленности антенны, подтверждения целостности канала миллиметрового диапазона и оптимизации характеристик устройства для реальных условий эксплуатации.

Общие сведения о технологии MIMO

Для того чтобы иметь возможность решать возникающие проблемы, требуется понимание основных методов передачи и приёма высококачественных и помехоустойчивых сигналов посредством устройства стандарта 5G. Каждый из множества методов использования нескольких антенн обладает определенными преимуществами и недостатками, что вынуждает принимать компромиссные решения.

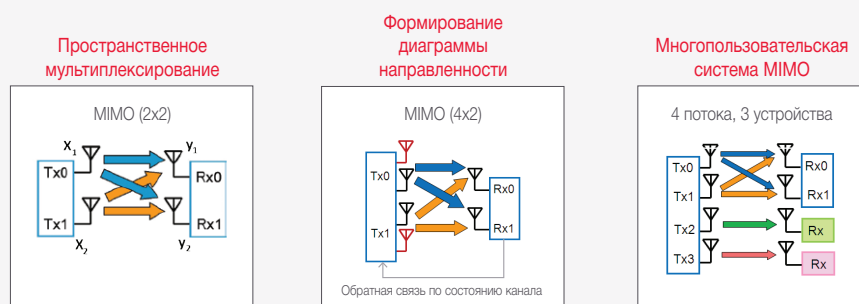


Рис. 1. Конфигурации MIMO с пространственным мультиплексированием

Пространственное разнесение, используемое для повышения надёжности различных видов радиосвязи, обеспечивается посредством передачи нескольких копий одного сигнала через несколько антенн. Этот метод повышает вероятность корректного приёма сигнала.

При пространственном мультиплексировании различные данные подаются на каждую антенну и все антенны работают на одной частоте. В этом случае создается несколько каналов с независимыми потоками, что позволяет повысить общую скорость передачи данных.

Управление лучом и формирование диаграммы направленности (ДН) – дополнительные методы использования нескольких антенн для узконаправленной передачи, обеспечивающие увеличение усиления при точном позиционировании основного лепестка ДН относительно приемной антенны устройства. Формирование диаграммы направленности сложнее, чем управление лучом, поскольку требует создания обратной связи в канале, чтобы изменять форму и направление луча в режиме реального времени. Применение пространственного мультиплексирования в сочетании с формированием диаграммы направленности повышает помехоустойчивость принимаемых сигналов и пропускную способность. Метод значительного повышения спектральной эффективности за счёт направления нескольких лучей на разные устройства называется многопользовательским MIMO.

Применение технологии MIMO и формирование диаграммы направленности – проблемы и пути решения

Применение MIMO и формирование диаграммы направленности в миллиметровом диапазоне создает множество новых проблем для разработчиков устройств. Стандарты 5G NR определяют структуру кадров на физическом уровне, новый опорный сигнал и новые режимы передачи для поддержки скоростей улучшенного мобильного широкополосного доступа (eMBB) 5G. Разработчики должны анализировать трёхмерные диаграммы направленности и обеспечивать связь с базовой станцией с требуемыми характеристиками, надёжностью и качеством. Ниже перечислены основные аспекты для успешного проектирования устройств 5G:

1. Проверка трёхмерной диаграммы направленности антенны
2. Подтверждение целостности канала миллиметрового диапазона
3. Оптимизация характеристик устройства для реальных условий эксплуатации

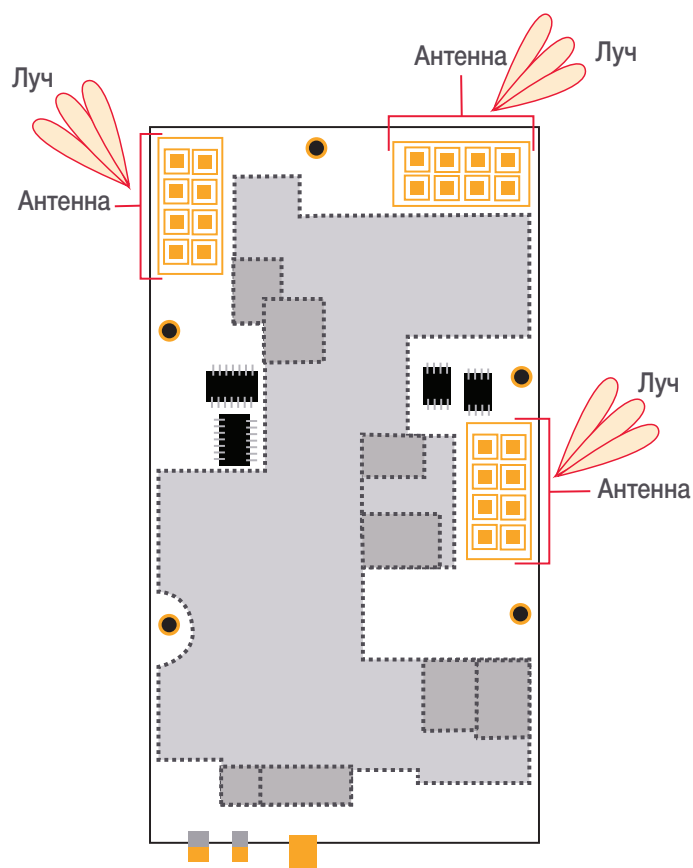


Рис. 2. Прототип смартфона 5G с антенной системой MIMO



Для управления лучом или формирования диаграммы направленности в мобильных устройствах будут использоваться многоэлементные антенные решётки. Фазированные антенные решётки являются недорогим и эффективным решением для динамического создания и наведения луча в требуемом направлении. Фазированная антенная решётка состоит из отдельных антенных элементов. Изменяя относительные фазы и амплитуды сигналов, подаваемых на отдельные элементы, можно формировать диаграмму направленности антенной решётки. Такие решётки плотно интегрируются в РЧ ИС и могут быть протестированы только методом по радиоэффиру, так как контрольные точки для всех сигналов реализовать невозможно.

1. Проверка диаграммы направленности. Характеристики луча оцениваются посредством измерения трёхмерных диаграмм направленности антенны и проверки коэффициента усиления, уровня боковых лепестков и нулей диаграммы направленности антенны для всего диапазона частот и полос пропускания стандарта 5G. Для настройки антенны и получения максимального сигнала передачи боковые лепестки и нули диаграммы направленности должны находиться в строго определённых положениях.

Проверка прототипов очень важна, но создание прототипа для миллиметрового диапазона требует больших затрат. Моделирование антенны в САПР с моделями каналов и линиями связи с базовыми станциями позволит на ранних этапах проектирования оценить возможности снижения затрат на создание прототипа и доработку устройства. Данные моделирования очень важны, их можно использовать для диагностики на всех этапах проектирования. На рис. 3 показано моделирование на уровне канала связи с моделями каналов миллиметрового диапазона, позволяющее оценить характеристики смоделированной антенны. При таком подходе в процессе моделирования можно добавлять различные искажения, чтобы оптимизировать устройство перед тем, как создать опытный образец.

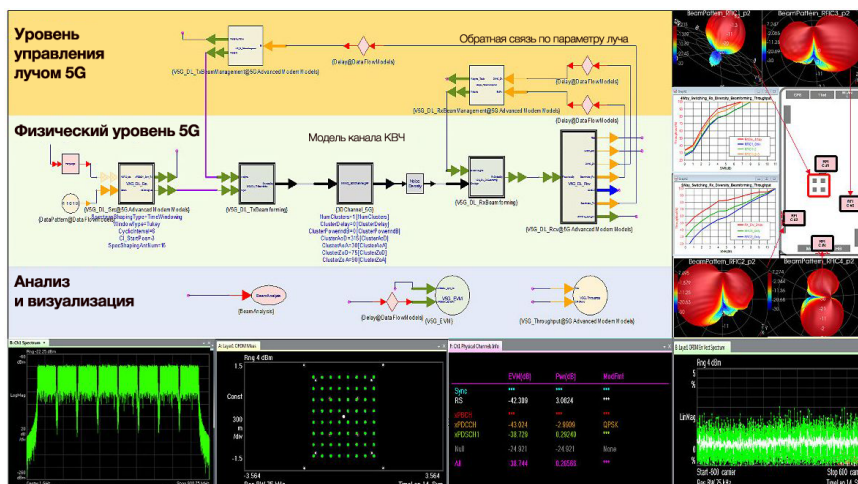


Рис. 3. САПР SystemVue для моделирования на системном уровне помогает разработчикам ускорить проектирование и проверку устройств перед созданием опытных образцов.

После принятия решения о создании опытного образца разработчики должны проверить соответствие раскрытия основного лепестка диаграммы направленности, положения нулей, значения коэффициента усиления в заданном диапазоне и пределов выходной мощности антенны определённым требованиям. Тестирование опытных образцов требуется выполнять по радиоэффиру.

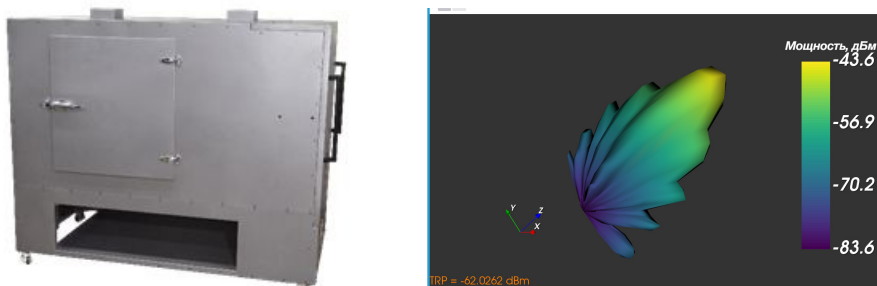


Рис. 4. Компактный антенный полигон ближней зоны (CATR) для тестирования в миллиметровом диапазоне по радиоэффиру



2. Целостность канала миллиметрового диапазона. Применение в системах LTE антенн с широкими секторами покрытия позволит охватить больше потенциальных абонентов. Для решения проблем передачи сигналов миллиметрового диапазона при реализации технологии 5G предполагается использовать узконаправленные антенны, но это создаёт трудности при поиске сигналов базовой станции абонентскими терминалами. Поддержание качества связи – тоже непростая задача, особенно при перемещении устройства в зоне действия сети. В релизе 15 стандарта 5G NR заданы новые процедуры начального доступа и подключения для установления беспроводного соединения. Так как устройство и базовая станция не знают заранее местоположение друг друга, базовая станция выполняет сканирование лучом во всех направлениях для передачи информации о канале в блоках синхронизации, как показано на рисунке 5. Абонентский терминал обнаруживает наиболее сильный сигнал базовой станции и передаёт ответный сигнал. Теперь, когда базовая станция имеет информацию о направлении на абонентский терминал, связь может быть установлена.

Также определены процедуры для захвата и сопровождения по лучу, наведения луча, обратной связи по лучу и передачи обслуживания. Если используется смешанная нумерология, то на установление соединения потребуется больше времени. Разработчики должны реализовать, проверить и оптимизировать все эти функции, иначе пользователь столкнется с пропусками вызовов или снижением качества соединения.

Тестирование протокола на ранних этапах разработки гарантирует, что устройство сможет нормально устанавливать и поддерживать соединение. Эмулятор сети со встроенной системой задания протокола обмена может эмулировать сигналы сети и тестировать результирующие сигналы устройства для проверки и оптимизации управления начальным доступом и лучом.

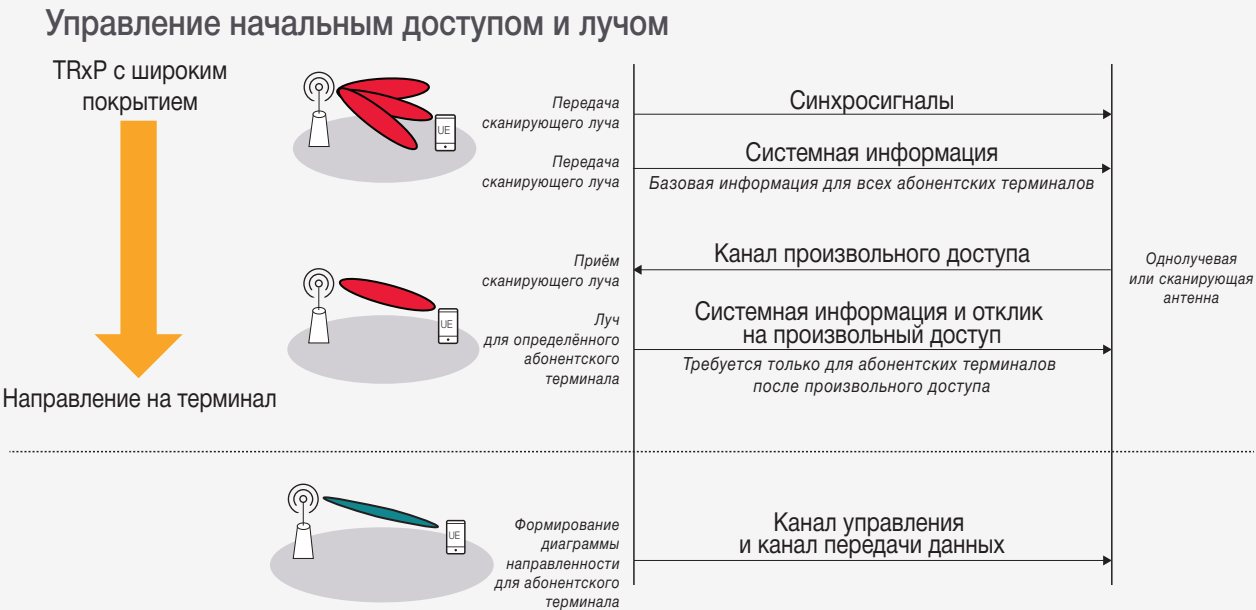


Рис. 5. Управление начальным доступом и лучом для технологии 5G

3. Оптимизация характеристик устройства для реальных условий эксплуатации. Пропускная способность и задержка – основные параметры систем беспроводной связи. При слишком больших задержках взаимодействие с пользователями ухудшается. Различные уровни стека протоколов должны работать согласованно, чтобы обеспечить целевые задержку и пропускную способность системы 5G. Важно понимать, как будет работать устройство не только при захвате луча, но и при передаче обслуживания (хэндовер), возврате к соединению 4G, а также при выполнении других функций управления лучом.

Одним из наиболее эффективных методов тестирования сквозной пропускной способности системы является использование эмулятора сети для передачи команд протокола абонентскому терминалу и измерение отклика этого терминала. Как показано на рис. 6, эмулятор сети создает сценарии, чтобы сконфигурировать соединение с базовой станцией 5G, изменить уровни мощности опорных сигналов и синхросигналов, задать параметры формирования диаграммы направленности и ресурсные блоки для управления передачей и приёмом.



Рис. 6. Измерительная система с эмулятором сети

Тестирование большинства компонентов и устройств выполняется в среде с контролируемой средой радиодоступа. Однако эти устройства должны работать в условиях, где существуют проблемы распространения сигнала, включая очень большие потери в тракте передачи, замирание, обусловленное многолучевым распространением, и разброс задержки. Эти искажения в реальных условиях влияют на характеристики устройства, поэтому их необходимо учитывать. Добавление эмулятора канала в измерительную систему позволяет оценить сквозную пропускную способность для всего стека протоколов в различных реальных условиях радиосвязи.

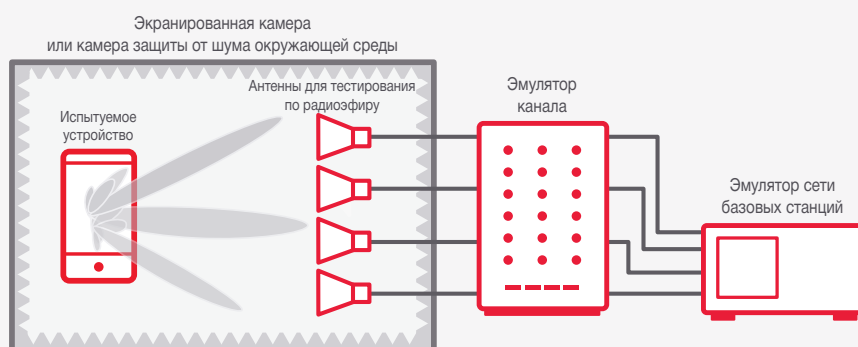


Рис. 7. Эмулятор канала, такой как Keysight PROPSIM F64, позволяет оценивать работу системы в реальных условиях

Заключение

ММО, управление лучом и формирование диаграммы направленности – важнейшие технологии, используемые в устройствах стандарта 5G. Реализация многоэлементных антенных систем создает новые проблемы для разработчиков. Наличие оптимальных инструментов для измерений диаграммы направленности антенны, возможность проверки работы устройств в сети, а также обеспечение ожидаемого качества обслуживания имеют важнейшее значение. Keysight предоставляет контрольно-измерительные решения для оценки структуры луча и характеристик устройств в смоделированной сети, поэтому разработчики могут без проблем выполнять все операции – от отладки протокола до измерений ВЧ-тракта – для повышения эффективности проектирования даже на самых ранних этапах развёртывания сетей 5G. Возможность эмуляции каналов позволит разработчикам проверять свои устройства в реальных условиях и ускорит вывод на рынок высокотехнологичных продуктов.

По ссылке www.keysight.com/find/5GNR представлены решения компании Keysight для разработки устройств 5G NR, а также следующая часть серии технических обзоров о 5G, в которой рассмотрены проблемы, связанные с тестированием по радиоэффиру.

Подробную информацию вы найдете
на нашем сайте www.keysight.com.

Для получения дополнительных сведений о продукции, приложениях и услугах Keysight Technologies обратитесь в местное представительство компании Keysight. Полный перечень представительств приведен по ссылке www.keysight.com/find/contactus

