

5G



АНАЛИТИЧЕСКИЙ
ДОКЛАД

Первые шаги в 5G

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

Часть 1. Стандарт 5G New Radio

Мы стремительно приближаемся к практической реализации стандарта 5G, возможности которого значительно превосходят возможности 4G. В первом выпуске стандарта 5G New Radio (NR) – релизе 15, опубликованном в декабре 2017 г., – были сформулированы спецификации физического уровня. Спецификации релиза 15 в основном касаются улучшенного мобильного широкополосного доступа (eMBB) и высоконадежной связи с низкой задержкой (URLLC), что обеспечивает очень высокие скорости передачи данных и сверхмалые задержки в линиях беспроводной связи.

Эти спецификации ставят новые задачи для разработчиков устройств и компонентов. В контексте создания новых устройств, соответствующих требованиям новых стандартов, давайте задумаемся о том, как вы проверяете протоколы для различных тестовых сценариев и оцениваете радиочастотные характеристики, чтобы обеспечить ожидаемое качество обслуживания. Ведь выполнять измерения сейчас стало значительно сложнее. Системы Massive MIMO (множественный ввод/вывод) и синтез апертуры антенн усложняют формирование диаграммы направленности; использование миллиметрового диапазона длин волн вызывает проблемы с качеством сигнала; измерения, которые раньше выполнялись с помощью кабелей, теперь нужно выполнять через радиоканал, что делает процесс испытаний еще более сложным. Данный аналитический доклад, состоящий из четырех частей, посвящен нижним уровням стека связи и новым задачам, возникающим в ходе проектирования и испытаний устройств 5G.

Что такое 5G?

Новейшие технологии, такие как облачные вычисления, искусственный интеллект и машинное обучение, дополненная и виртуальная реальность, Интернет вещей, а также миллиарды подключенных устройств революционным образом расширяют возможности беспроводных коммуникационных систем. Где и как применяется 5G NR? Технология 5G обещает надежное высокоскоростное и почти мгновенное соединение любых абонентов. Она предоставляет возможность следить за событиями или играть в компьютерные игры в реальном времени, делает голосовую и видеосвязь еще качественней и доступнее, а также позволяет создавать персонализированную среду для каждого пользователя с помощью умных устройств и искусственного интеллекта.

Ожидается, что 5G NR будет работать параллельно с 4G и даже использовать опорную сеть 4G для передачи данных и управления в неавтономном режиме (NSA). Ожидается, что 5G, 4G и Wi-Fi будут сосуществовать на одних и тех же несущих и использовать нелицензированные диапазоны для увеличения пропускной способности на частотах ниже 6 ГГц. Релиз 15 5G NR устанавливает основу для создания будущих релизов спецификаций 5G. Определение физического уровня – первый шаг в принятии 5G NR. Он очень важен, поскольку определяет архитектуру, формирующую и передающую сигнал через интерфейс радиосвязи.



Впереди новые вызовы

Реализация устройств на физическом уровне связана со следующими проблемами:

- Гибкие интервалы времени и частоты обеспечивают низкую задержку, но значительно усложняют кодирование каналов, могут ухудшить качество сигнала и повысить сложность испытаний.
- Эффективное использование спектра обеспечивается его делением на части, но это вызывает проблемы совместимости.
- Системы Massive MIMO и управление лучом в миллиметровом диапазоне обеспечивают высокую пропускную способность, но создают новые проблемы в формировании диаграммы направленности.
- Использование миллиметрового диапазона длин волн позволяет расширять полосы каналов, но создает проблемы с качеством сигнала и требует тестирования через радиointерфейс.

В части 1 этого документа даны спецификации 5G NR, и описаны новые функции, которые можно ожидать в 5G. В последующих частях будут более подробно описаны проблемы внедрения спецификаций 5G NR.

Спецификации 5G NR

Релиз 15 NR определяет сценарии использования нового радиointерфейса, обеспечивающего более высокую пропускную способность и малые задержки. Основным условием повышения пропускной способности является использование спектра миллиметрового диапазона до 52,6 ГГц. На этих более высоких частотах нет жестких ограничений на неразрывные участки спектрального диапазона для отправки большего объема данных через канал. Релиз 15 устанавливает максимальную полосу несущей до 400 МГц и позволяет агрегировать до 16 компонентных несущих в полосе до 800 МГц. Кроме того, гибкая и масштабируемая структура слотов позволяет ожидать множества новых и разнообразных сценариев применения в 5G. На рис. 1 показано, как различные спецификации обеспечивают гибкую и масштабируемую архитектуру физического уровня, а также перечислены явные преимущества, обеспечиваемые 5G NR.



Рисунок 1. Релиз 15 5G NR: технологии и преимущества



Терминология

- CP** – циклический префикс
- CP-OFDM** – мультиплексирование с ортогональным разделением частот с циклическим префиксом
- CSI** – информация о состоянии канала
- DFT-s-OFDM** – OFDM с разбросом задержки
- DL** – нисходящее соединение
- eMBB** – улучшенный мобильный широкополосный доступ
- FDD** – дуплексная связь с частотным разделением каналов
- LTE-LAA** – LTE-технология использования лицензированного спектра
- MIMO** – множественный ввод-вывод
- mmMTC** – массовая межмашинная связь
- mmWave** – миллиметровый диапазон длин волн
- NR** – Новое Радио
- OTA** – радиointерфейс
- PAPR** – отношение пиковой мощности к средней
- SFI** – индикатор формата слота
- TDD** – дуплексная передача с временным разделением каналов
- TTI** – интервал передачи
- UL** – восходящее соединение
- URLLC** – высоконадежная связь с низкими задержками

Мини-слоты с низкой задержкой

Высоконадежная связь с низкими задержками (URLLC) – это один из трех сценариев применения 5G. Она обеспечивается частично с помощью мини-слотов. В LTE передача осуществляется в слотах стандартной длительности, использование которых не может максимально снизить задержки. В стандартный слот помещаются 14 символов OFDM, что показано темно-синим цветом на рис. 3. При увеличении разнесения поднесущих длительность слотов уменьшается, что показано голубым цветом. Мини-слот короче стандартного и может располагаться в любом месте внутри стандартного слота. В мини-слоте помещаются 2, 4 или 7 символов OFDM. Мини-слоты позволяют увеличить полезный объем передаваемой информации с низкой задержкой, поскольку передача запускается немедленно, не ожидая начала очередного стандартного слота.



Рис. 3. Слоты, мини-слоты и соответствующие значения длительности слотов внутри субкадра

Гибкая структура слотов

Структура субкадра NR также позволяет динамически распределять символы OFDM и управляющую информацию для UL и DL внутри одного субкадра. Используя этот гибкий механизм TDD, сеть может динамически изменять объем передаваемых данных для UL и DL, включая передачу управляющей информации и подтверждений передачи данных в одном и том же субкадре. Индикатор формата слота (SFI) указывает, используются ли данные символы OFDM для передачи только в восходящем (UL) или нисходящем (DL) соединении, или же структура слота смешанная (UL-DL).

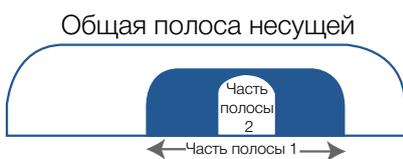


Рисунок 4. Для динамического увеличения трафика используют смешанную структуру слота.

Гибкое разделение спектра на компоненты

В сетях LTE несущие с более узкой (максимум 20 МГц) полосой могут быть собраны вместе в канал с полосой частот до 100 МГц. В сетях 5G NR максимальная полоса несущей в диапазоне FR1 (до 24 ГГц) составляет 100 МГц, а в диапазоне FR2 (до 52,6 ГГц) – 400 МГц. Новшеством в 5G NR стало то, что компоненты спектра несущей могут быть использованы для разных целей. Каждый компонент спектра может иметь свое разнесение поднесущих и передаваться независимо. В спектре одной несущей могут присутствовать узкополосные компоненты для экономии энергии, компоненты с разным разнесением поднесущих или сервисами в нелицензированных диапазонах. Однако одновременно только одна часть полосы может быть активной для UL, и еще одна – для DL. Разрозненные компоненты спектра реализуют поддержку как устаревших устройств 4G, так и новых устройств 5G на одной и той же несущей. Мультиплексирование сервисов 4G, 5G и, в перспективе, Wi-Fi требует свести к нулю паразитные излучения внутри и за пределами спектра несущей. На рис. 5 показано, что в одном спектре несущей компоненты могут быть использованы разными сервисами.

Примеры использования компонентов спектра



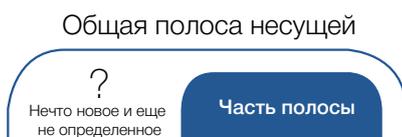
Каждый отдельный пользователь вносит в общий спектр несущей свой более узкий компонент, для передачи которого требуется меньше энергии, что позволяет снизить потребляемую мощность устройства пользователя.



В общем спектре несущей имеется два несмежных компонента с разным разнесением поднесущих.



Компоненты спектра, между которыми вставлен спектр сигнала неизвестного сервиса.



Незанятый участок спектра для нового или пока не определенного сервиса.

Рис.5. Компоненты спектра одной несущей могут использоваться разными сервисами.

Увеличение пропускной способности с помощью Massive MIMO и управления лучом

Как и для всех предыдущих поколений, успех 5G в основном будет обеспечен повышением пропускной способности. Она достигается различными способами, включая расширение полосы канала, позволяющее передавать больше данных по радиointерфейсу; пространственное уплотнение, позволяющее передавать несколько независимых потоков данных через несколько антенн в заданное время и на заданной частоте; а также использование усовершенствованной обратной связи в канале за счет более развитого канального кодирования. Massive MIMO и управление лучом являются основными технологиями, увеличивающими пропускную способность.

Релиз 15 NR разрешает использование частот до 52,6 ГГц с полосой до 400 МГц на одну несущую, при этом можно агрегировать несколько несущих в полосе канала до 800 МГц. Однако работа в миллиметровом диапазоне вызывает новые проблемы, связанные с потерями в тракте передачи, затенением антенны и распространением сигнала. Основным способом решения этих проблем является управление лучом. Для NR установлена новая процедура начального доступа, обеспечивающая узконаправленную передачу путем управления лучом. Как показано на рис. 6, процедура начального доступа заключается в том, что базовая станция начинает передачу, выполняя сканирование за счет развертки луча диаграммы направленности (ДН) антенны. При получении ответа от пользовательского устройства она определяет направление с наибольшим уровнем приема сигнала и устанавливает связь, сориентировав луч в этом направлении. Управление лучом и новая процедура начального доступа обеспечат значительное повышение пропускной способности беспроводной линии 5G.



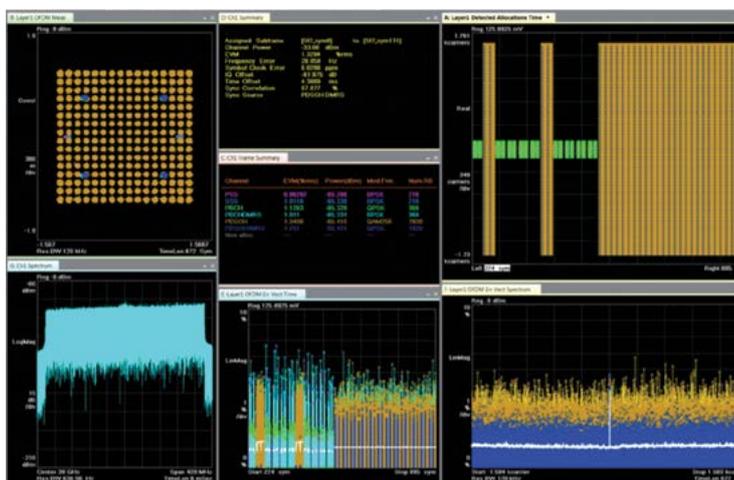
Рис.6. Развертка главного луча ДН антенны и начальный доступ

CSI для более надежного формирования луча

Информация о состоянии канала (CSI) помогает устройствам 5G NR более надежно формировать луч. Для динамического управления разными лучами в 5G NR задан новый алгоритм их формирования на основе результатов измерений CSI. Оценка канала с помощью CSI используется для интеллектуального изменения предварительного кодирования и адаптации луча под конкретного пользователя. Чем достовернее и точнее CSI, тем лучше будет адаптирован канал связи.

Анализ сигналов 5G NR

Очень важно знать, как выполнять анализ сигналов 5G NR в частотной и временной областях, а также характеристики модуляции таких сигналов. Для это нужно иметь аппаратное и программное обеспечение, позволяющее создавать и анализировать сигналы 5G в разных сценариях применения в диапазоне до 6 ГГц и в миллиметровом диапазоне с более широкими полосами частот. Спецификации NR определяют новые возможности, включая гибкий выбор разнесения поднесущих, динамическую TDD и использование частей спектра, что усложняет создание и анализ сигналов. На рис. 7 два разных сигнала NR, созданные с помощью генераторов сигналов и программного обеспечения Signal Studio 5G компании Keysight, а также результаты анализа, выполненного с помощью программы векторного анализа сигналов Keysight 89600 VSA NR.



Анализ сигнала 256 QAM NR с полосой 400 МГц на частоте 39 ГГц.



Одновременный анализ несущих 5G NR и 4G LTE в смежных диапазонах.

Рис.7. Анализ сигналов 4G и 5G с помощью генераторов и анализаторов сигналов и ПО векторного анализа сигналов VSA

Заключение по части 1

Преимущества, которые предложит технология 5G, будут связаны с повышенной пропускной способностью, низким задержками и массовой межмашинной связью. Исходный релиз 15 5G NR обеспечивает гибкость и прямую совместимость, но при его реализации возникают значительные сложности. Выполнение измерений на каждом этапе реализации проекта в соответствии с новыми стандартами, будь то моделирование, проектирование или проверка, может вызывать различные сложности. Технологии проектирования и измерений параметров устройств 5G должны развиваться так, чтобы обеспечить реализацию различных сценариев тестирования, задача которых – предоставить надежные соединения в миллиметровом диапазоне, высокую пропускную способность и совместное использование 5G NR, 4G и Wi-Fi. Следите за следующими выпусками аналитического доклада по теме 5G NR, в которых мы рассмотрим проблемы с переходом в миллиметровый диапазон и дадим рекомендации по проектированию устройств 5G NR.



Подробную информацию см. на 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 на сайте www.keysight.com/find/contactus.

