

Факты и вымыслы: каким на самом деле будет 5G New Radio.

Предпосылки к разработке

Исходная версия спецификаций 5G New Radio (5G NR) была выпущена Комитетом стандартизации Партнерского проекта третьего поколения (3GPP) в декабре 2017 года. После чего начали появляться чипсеты 5G, и интенсивность исследований в данном направлении заметно возросла. Что это значит для тех, кто занят разработкой устройств 5G? Вначале 5G NR будет поддерживать лишь небольшое число сценариев применения. В статье рассматривается 15-й релиз стандарта 5G NR, демонстрируются некоторые неверные представления и описываются ограничения и предпосылки проектирования устройств.

Шери Де Томаси (Sheri De Tomasi)

5G NR выглядит для потребителей многообещающе — очень высокие скорости загрузки для просмотра сверхвысококачественного видеоконтента, малые задержки в критически важных приложениях, например для управления дронами, и прямое взаимодействие между устройствами, минуя сеть. Все это подробно рассмотрено в документе «Общие цели перспек-

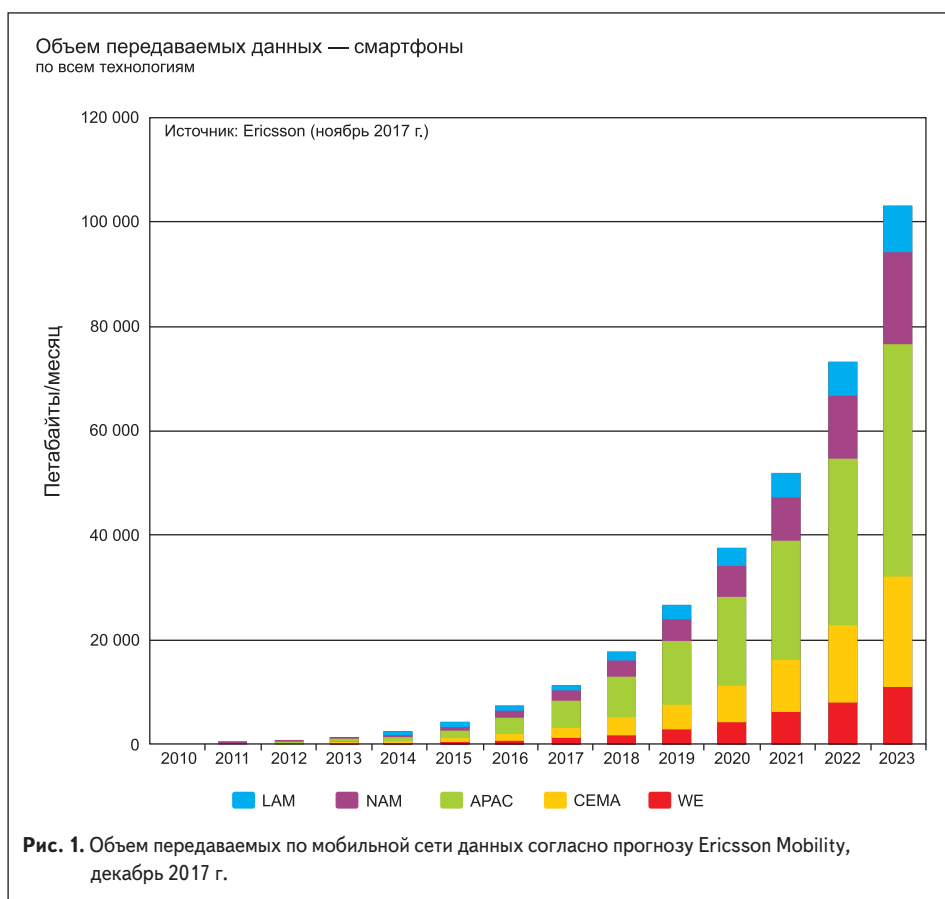
тивного развития ИМТ до 2020 года и далее». Согласно отчету Ericsson Mobility за декабрь 2017 года, предполагается, что суммарный объем данных, передаваемых по мобильной сети, будет ежегодно увеличиваться на 42% (рис. 1). Это предъявит серьезные требования к беспроводной сети, и для достижения поставленных целей понадобятся новые технологии.

Как и в строительстве дома, первый шаг заключается в возведении прочного фундамента для поддержки всей структуры. На первых этапах новые функции будут обеспечивать расширенную широкополосную мобильную передачу (eMBB) и сверхнадежную передачу данных с малыми задержками (URLLC), а поддержка других сценариев массового межмашинного взаимодействия (mMTC), ориентированная в первую очередь на приложения IoT, будет определена позже, в 2019 году. Сейчас стандарты 5G NR все еще находятся на этапе разработки и будут завершены в ближайшие несколько лет. Какими же из этих новых функций 5G можно воспользоваться уже сейчас? Давайте посмотрим, что можно реализовать с помощью начального варианта R15.

Факт или вымысел?

5G NR приходит на смену сетям 4G

Вымысел: 4G LTE продолжает развиваться и фактически будет играть основную роль в успешном внедрении 5G. При подключении устройств к сети 4G и 5G будут сосуществовать, обеспечивая более широкое покрытие и облегчая внедрение новых сетевых технологий. Разработчики стандарта 4G LTE-Advanced Pro уже достигли скоростей передачи в несколько гигабит за счет применения методов модуляции более высоких порядков, расширения потоков MIMO (несколько



входов, несколько выходов) и агрегирования лицензируемого и нелицензируемого спектра с помощью таких технологий, как LTE-LAA (лицензируемый доступ с дополнительной поддержкой). Будет наблюдаться интеграция между 4G и 5G, и первый выпуск 5G NR не станет полностью автономным (NSA): в части распределения и управления сигналами сеть 5G будет опираться на сеть 4G. Конечный вариант R15 сможет поддерживать автономный режим (SA), но предполагается, что слияние 4G, 5G и даже Wi-Fi продолжится и будет обеспечивать поддержку широкого спектра услуг. В конечном итоге это значит, что 4G не исчезнет в скором времени. Разработчикам устройств придется учитывать сосуществование 5G NR, 4G LTE и Wi-Fi на одной несущей, порождающее радиочастотные помехи, а также сетевые коллизии в процессе распределения трех разных протоколов.

5G будет использовать гибкую нумерологию для решения проблем распределения спектра и услуг

Факт: стандарт 5G NR представил гибкую нумерологию для поддержки широкого диапазона частот и распределения всевозможных служб, в качестве которых могут выступать приложения IoT, передающие большие объемы данных, приложения с малыми и даже большими задержками. Разнесение поднесущих больше не ограничивается фиксированными 15 кГц. Вместо этого разнесение поднесущих растет с увеличением частоты с шагом $2^n \times 15$ кГц. Это позволяет использовать переменную длительность слота, в результате чего некоторые слоты могут занимать меньше времени. Для поддержки будущих критически важных приложений с малыми задержками мини-слот будет короче стандартного слота и может начинаться в любое время, не дожидаясь границы слота (рис. 2).

С появлением в 5G NR гибкой нумерологии число необходимых тестов резко возросло, и разработчикам устройств придется создавать и анализировать сигналы в частотной, временной и модуляционной областях, а также проверять параметры устройств в сетях с разными нумерологиями.

Кроме того, в процессе мультиплексирования разных нумерологий только поднесущие в пределах одной нумерологии остаются взаимно ортогональными. Смещение нескольких нумерологий на одной несущей может создавать помехи поднесущим других нумерологий. Чтобы убедиться в отсутствии внутрислосных и внеполосных излучений, создающих помехи другим сигналам на этой же несущей, потребуется проверка радиочастотной совместимости.

5G NR использует только КВЧ-диапазон

Вымысел: хотя применение КВЧ-диапазона критически важно для достижения высочайшей пропускной способности, ожидаемой от широкополосных каналов 5G, частоты ниже 6 ГГц будут по-прежнему использоваться во всех трех сценариях применения: eMBB, URLLC и mMTC. Спектр ниже 6 ГГц хорошо освоен, и многие страны высвобождают спектр для первых выпусков в диапазонах до 6 ГГц. Примерно 20 стран рассматривают возможность применения диапазона 3,4–3,8 ГГц, в котором можно найти непрерывные участки спектра. Частоты ниже 6 ГГц порождают некоторые проблемы, но именно применение более широких поднесущих в КВЧ-диапазоне создает целый ряд новых проблем, с которыми до этого не приходилось сталкиваться коммерческой мобильной связи. 5G NR регламентирует применение частот до 52,6 ГГц, и некоторые страны проводят испытания в диапазонах 26, 28 и 39 ГГц.

Среди новых проблем, возникающих в связи с переходом в КВЧ-диапазон, есть проблемы, вызванные дополнительными потерями в канале, затенением и другими особенностями распространения сигнала, ограничивающими зону покрытия соты. Для решения проблем распространения сигнала будет применяться формирование заданной диаграммы направленности антенн, в свою очередь порождающее свои проблемы, которые будут описаны далее в этой статье. Возникнут дополнительные трудности эффективной генерации и приема высококачественных сигналов в существенно более широких полосах. Особую важность приобретут расширенные возможности измерения ВЧ-характеристик сигнала, таких

как модуль вектора ошибки, относительный уровень мощности в соседнем канале и маска излучаемого спектра.

Тесты 5G для диапазона КВЧ нужно будет выполнять по радиоэффиру (OTA)

Поживем — увидим: большинство тестов на частотах до 6 ГГц выполняется путем физического подключения коаксиального кабеля от тестируемого устройства к испытательной системе. Компоненты, работающие на КВЧ, обладают меньшими размерами и более высоким уровнем интеграции, что может ограничить число контрольных точек и затруднить (или вообще сделать невозможным) кабельное соединение. Без кабельного соединения разработчикам остается полагаться на тесты по радиоэффиру. Тесты по радиоэффиру в КВЧ-диапазоне вносят новые погрешности за счет использования радиоэффира в качестве соединения. На разных этапах создания изделий нужно выполнять разные тесты взаимодействия абонентского оборудования (АО) с базовой станцией. Например, в техническом описании 3GPP указаны следующие тесты радиопередачи и приема (таблица).

К числу самых серьезных проблем конструирования относятся размещение антенны и блокировка или ложные сигналы. Измерения через радиоинтерфейс в ходе научных исследований должны предусматривать измерения диаграммы направленности, измерения перекрестной поляризации и тесты управления лучом. Тесты совместимости еще предстоит определить. Недавно 3GPP добавил метод испытания дальности компактных антенн (CATR), который использует параболический отражатель для того, чтобы сигнал выглядел поступающим с большого расстояния. Этот метод может дать точную, недорогую и компактную альтернативу традиционным испытательным камерам для измерений в дальней зоне.

MIMO с большим числом каналов и формированием диаграммы направленности (ДН) 5G NR будет использовать антенные решетки с сотнями антенных элементов

Вымысел: в то время как MIMO с большим числом каналов использует сотни антенн

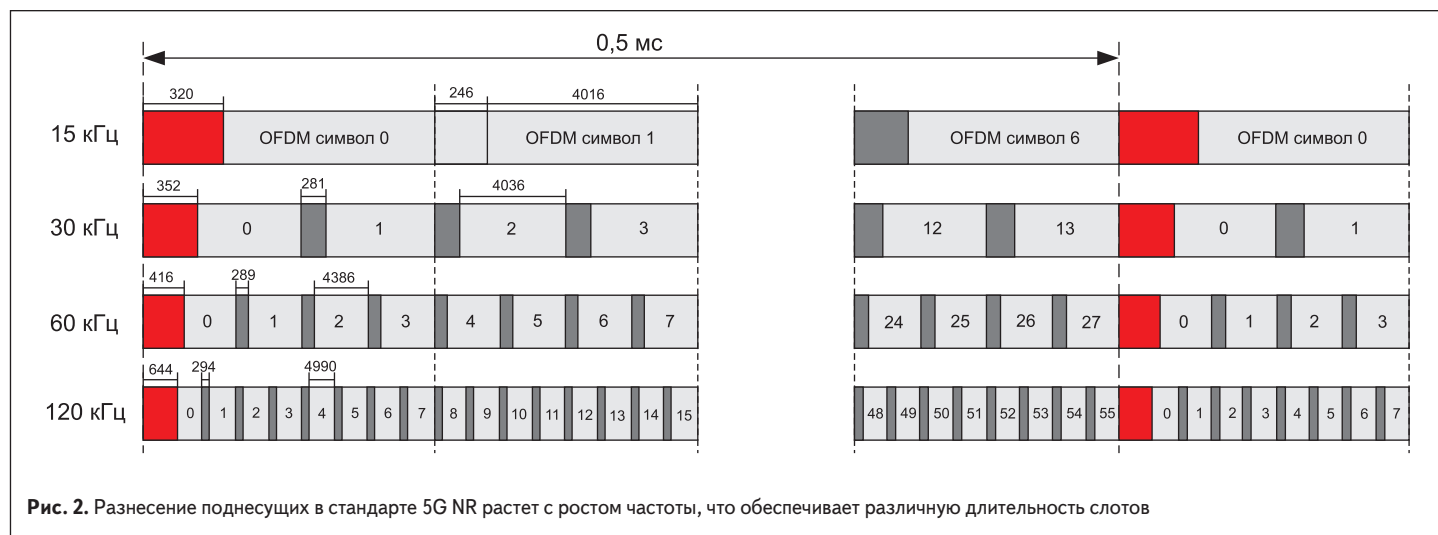


Рис. 2. Разнесение поднесущих в стандарте 5G NR растет с ростом частоты, что обеспечивает различную длительность слотов

Т а б л и ц а . Перечень тестов радиопередачи и приема согласно техническому описанию стандарта 3GPP

| | Абонентское оборудование | Базовая станция |
|-------------------|---|--|
| Документы | TS 38.101, радиопередача и прием абонентского оборудования | TS 38.104, радиопередача и прием базовой станции. TS 38.141, проверка совместимости базовой станции |
| Тесты передатчика | Мощность передачи. Динамические характеристики выходного сигнала. Качество передаваемого сигнала. ВЧ-спектр выходного сигнала. Паразитные излучения | Излучаемая мощность при передаче. Выходная мощность базовой станции. Динамические характеристики выходного сигнала. Мощность в состояниях «вкл./выкл.». Минимальная выходная мощность. Качество передаваемого сигнала. Занимаемая полоса частот. Коэффициент утечки мощности в соседний канал (ACLR). Паразитные излучения в рабочем диапазоне. Паразитные излучения передатчика. Интермодуляционные искажения передатчика |
| Тесты приемника | Параметры многоантенной передачи. Опорный уровень чувствительности. Максимальный входной уровень. Селективность по соседнему каналу. Параметры блокировки. Реакция на паразитные составляющие. Интермодуляционные искажения. Паразитные излучения | Чувствительность. Опорный уровень чувствительности. Динамический диапазон. Внутриполосная селективность и блокировка. Внеполосная блокировка. Паразитные излучения приемника. Интермодуляционные искажения приемника. Внутриканальная селективность |

на базовой станции, 5G NR R15 поддерживает только MIMO до 8x8, то есть 64 антенных элемента — то же число, что и в текущей версии 4G LTE. MIMO с большим числом каналов определена достаточно туманно — как MIMO с существенно большим количеством антенн на базовой станции, чем на абонентском устройстве, и реализована в виде многопользовательского MIMO (MU-MIMO). В начальной версии на базовой станции планировалась MIMO до 8x8 и 2x2 у абонентов. В последующих версиях стандарта, вероятно, добавится поддержка MIMO более высоких порядков. MIMO с большим числом каналов будет реализована в диапазонах до 6 ГГц и КВЧ, причем первое коммерческое применение начнется на частотах ниже 6 ГГц. MIMO можно реализовать несколькими способами, и в специальных случаях для фокусировки мощности в нужном направлении используется формирование диаграммы направленности с помощью нескольких антенных элементов. Эта методика помогает улучшить отношение сигнала к шуму и помехам (SNIR) для конкретного пользователя. Стандарт 5G NR описывает новый начальный метод доступа для формирования диаграммы направленности, который будет использовать развертку луча ДН антенны, в результате чего базовая станция сможет определить луч максимальной силы и установить соединение, как показано на рис. 3.

MIMO и формирование диаграммы направленности создают массу проблем для диапазонов до 6 ГГц и КВЧ. Кроме проблем поиска луча на этапе начального доступа, нужно проверять общее управление лучом,

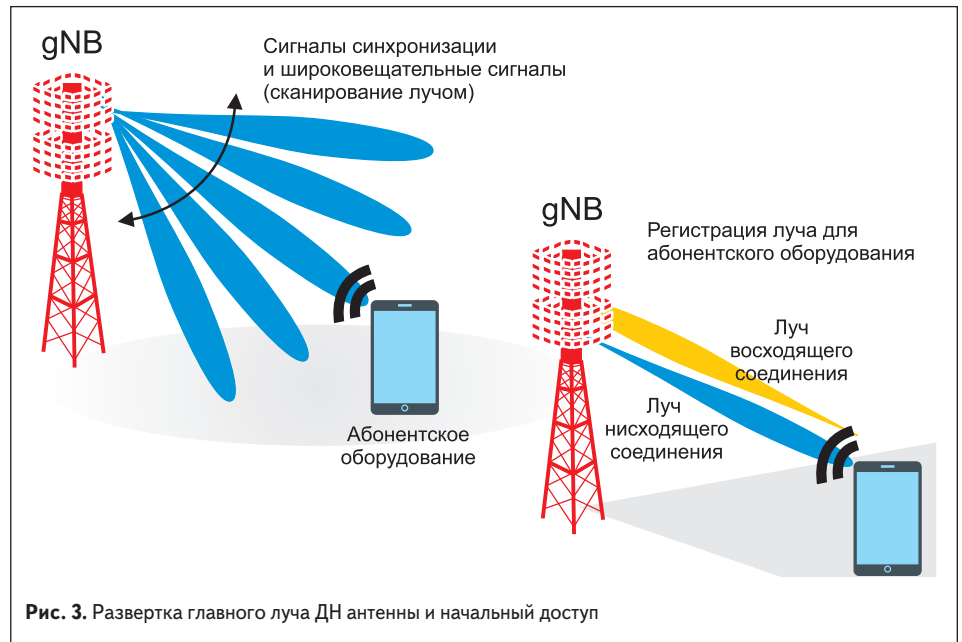


Рис. 3. Развертка главного луча ДН антенны и начальный доступ

эффективность перехода между сотами и пропускную способность.

Заклучение

Сегодня многие компании яростно сражаются за первенство на рынке продуктов 5G. При наличии большого числа пробных проектов и различных чипсетов модемов 5G вскоре должны появиться элементы инфраструктуры и абонентские устройства. Новые проблемы сосуществования 5G NR, 4G и Wi-Fi, гибкая нумерология, качество

сигнала в КВЧ-диапазоне, тестирование по радиointерфейсу и управление лучом потребуют нового взгляда на тестирование. Придется рассматривать параметры сигнала в присутствии разных нумерологий и на более высоких частотах КВЧ-диапазона. Кроме того, поскольку сети и базовые станции пока отсутствуют, для проверки характеристик устройств в реальных условиях придется применять эмуляторы сетей, эмуляторы каналов и испытательные решения для проверки радиointерфейса. ■