

"Новое Радио"

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

"Как часто в прессе при упоминании имён знаменитых лиц добавляют: "Более известный под кличкой..."".

(Никита Богословский)

Речь пойдёт о развитии стандарта мобильной связи пятого поколения (5G), который пока "выдал на гора" свою первую версию NSA 5G NR, более известную теперь как New Radio, или "Новое Радио". Впрочем, похоже, что это название сохранится и для будущих вариантов стандартов 5G. Собственно, сейчас внедряется новый радиоинтерфейс, тогда как полноценного стандарта для построения сетей 5G ещё нет. И чтобы дело не стояло на месте, оставшиеся к настоящему вре-

мени на рынке поставщики оборудования Huawei, Ericsson, Nokia уже предложили концепцию развития стандарта 5G поверх существующих сетей 4G/LTE и далее. Конечная цель — стандарт 5G должен стать обобщённым стандартом для всех уже используемых стандартов мобильной/сотовой связи. Говорят даже, что, мол, 5G будет чуть ли не последним стандартом мобильной связи, но, зная динамику развития технологий, пока об этом говорить рано.

Понятно, что развёртывание сетей 5G повлечёт за собой революцию в скоростной передаче огромных объёмов данных с невероятно низким уровнем задержек для миллиардов подключённых устройств в рамках развития Интернета вещей (IoT) и Промышленного Интернета (IIoT). Это сейчас телекоммуникации ориентированы на обслуживание пользователей-людей, а через несколько лет мобильный широкополосный доступ должен будет удовлетворять потребности самых разнообразных устройств из IoT и IIoT. В отличие от людей, машины могут потреблять любые объёмы информации, как, впрочем, и генерировать их за очень небольшое время. Взять хотя бы HD-камеру (а потом и 4K/8K), видеопоток с которой должен непрерывно передаваться по линии "вверх". Начавшееся широкое использование "облаков" по определению требует высокоскоростных каналов обмена информацией, с которым, как выяснилось теперь, не смогут справиться сети 3G/4G. А ведь совсем недавно нам говорили, что "настоящие"

сети 4G — это технология LTE + "облака". Реальная жизнь быстро состарила эту формулу. Зато наличие инфраструктуры 5G уже позиционируется не меньше как критически важный элемент "цифровой" экономики. И если стандарт 4G преподносился как эволюция предыдущих разрозненных стандартов к чему-то наконец-то единому, то будущий стандарт 5G должен стать наконец-таки объединяющим для 2G/3G/4G и, собственно, 5G.

Конечные цели при разработке 5G ранее обозначались так:

- увеличение пропускной способности сети до более чем 10 Гбит/с;
- количество одновременных подключений до 100 млн устройств на 1 км²;
- обеспечение уменьшения задержки в сети до 1 мс.

В настоящее время спецификации релиза 15 3GPP содержат около 30 диапазонов частот, из которых в Европе ключевыми являются приведённые в **табл. 1**. Как видно из таблицы, в 5G присутствуют два радиочастотных диапазона, в которых ширина полосы радиоканала может исчисляться сотнями мегагерц, а значит, и скорости передачи информации там могут быть рекордными (возможно, до заявленных 10 Гбит/с). Правда, слишком уж большой дальности и глубины проникновения в здания на таких частотах ожидать не приходится. Зато хорошо представлены диапазоны 700 и 800 МГц, где с дальностью и проникновением всё будет хорошо, и это неудивительно — сколько не обещаешь использовать в 5G радиочастоты вплоть до 80 ГГц, но надо же показать где-то и надёжную связь (и

дарт, описывающий возможность развёртывания базовых станций 5G (gNB) вместе с уже существующими базовыми станциями 4G/LTE (eNB) и использования ядра существующей сети LTE (EPC). Абонентская станция взаимодействует одновременно с базовой станцией LTE и базовой станцией 5G в режиме двойного соединения (dual-connectivity).

Обещается, что характеристики "полноценного" стандарта 5G — Standalone 5G, который впоследствии придёт на смену 4G/LTE, будут выработаны к лету текущего года. Как заявили на заседании в Лиссабоне представители компании Qualcomm, стандарты NSA 5G NR и SA 5G NR будут иметь общие спецификации физического слоя для радиоинтерфейса, что не потребует существенных дополнительных инвестиций со стороны операторов. В частности, предстоит проделать большую работу, связанную с моделированием каналов и использованием нелицензируемого спектра радиочастот.

Как ожидается, средняя реальная скорость скачивания данных в 5G-сетях составит 100 Мбит/с, а загрузки — 50 Мбит/с. Время ожидания ответа сети — не более 4 мс (для 4G/LTE в реальных условиях — около 20 мс). На начальном этапе скорости обмена данными для пользовательских устройств нормируются на уровне до 20 Гбит/с на приём и 10 Гбит/с на передачу, при этом сеть 5G должна держать нагрузку не менее 500000 абонентских подключений на 1 км² зоны обслуживания.

Уже сейчас NSA 5G NR, как технологическая платформа, позволит проводить коммерческие испытания будущей технологии 5G. Не стоит забывать, что 5G — это нечто большее, чем просто беспроводная сеть. Чтобы воплотить эту концепцию в реальность, необходимо осуществить трансформацию сети и отказаться от статического оборудования с фиксированным функционированием в пользу виртуализованной программно-определяемой сети (сейчас этот процесс активно происходит в телекоме). Отраслевые лидеры рассчитывают на то, что 50 % их сетей будут виртуализованными, что позволит снизить стоимость владения сетью и ускорить вывод новых сервисов.

Поэтому в исследовательских группах по радиодоступу в 3GPP рассматриваются варианты новой архитектуры в подсистеме радиодоступа для внедрения технологии "облачных" вычислений. То есть средства цифровой обработки сигналов и управления базовой станцией 5G располагаются в "облаке", а приёмо-передающее радиооборудование — в ячеекх сети.

Поскольку сети 5G будут оперировать огромными потоками информации, необходимо оптимизировать нагрузку на них путём разделения функций между центральным узлом в "облаке" и базовыми станциями. В рамках 3GPP рассматривалось несколько вариантов такой оптимизации, но консенсуса по разделению функций не получилось. Однако другой индустриальный форум Common Public Radio Interface (CPRI), также участвующий в разработке технологий 5G, принял свою спецификацию с

Таблица 1

Обозначение диапазона	Частота, МГц	Дуплекс/назначение	Ширина полосы радиоканала, МГц
n1	1920...1980/2110...2170	Частотный	5, 10, 15, 20
n3	1710...1780/1805...1880	Частотный	5, 10, 15, 20, 25, 30
n7	2500...2570/2620...2690	Частотный	5, 10, 15, 20
n8	880...915/925...960	Частотный	5, 10, 15, 20
n20	832...862/791...821	Частотный	5, 10, 15, 20
n28	703...743/758...803	Частотный	5, 10, 15, 20
n38	2570...2620	Временной	5, 10, 15, 20
n78	3300...3800	Временной	10, 15, 20, 40, 50, 60, 80, 100
n80	1710...1785	Дополнительный — линия "вверх"	5, 10, 15, 20, 25, 30
n81	880...915	Дополнительный — линия "вверх"	5, 10, 15, 20
n82	832...862	Дополнительный — линия "вверх"	5, 10, 15, 20
n83	703...748	Дополнительный — линия "вверх"	5, 10, 15, 20
n84	1920...1980	Дополнительный — линия "вверх"	5, 10, 15, 20
n258	24250...27500	Временной	50, 100, 200, 400

Согласно данным международной ассоциации поставщиков мобильных решений (Global mobile Suppliers Association), для коммерчески доступных сетей 5G потенциально могут быть использованы следующие диапазоны радиочастот (в мегагерцах): 600; 700; 800; 900; 1400...1500, 2000, 2100, 2300, 2500, 2600, 3300...3400, 3400...3600, 3600...3800, 3800...4200, 4400...4900, 24250...29500, 31300...31800, а также 64...66 или 64...86 ГГц. Как видно, сюда вошли диапазоны, используемые в настоящее время для 2G/3G/4G, кроме 450 МГц (сети CDMA и LTE) и 1800 МГц (сети GSM и LTE).

Переход к 5G будет проходить постепенно. В самом конце 2017 г. орган по стандартизации индустрии телекоммуникаций (Консорциум 3rd Generation Partnership Project, или 3GPP) на заседании, состоявшемся в Лиссабоне, утвердил (причём досрочно) первые спецификации стандарта Non-Standalone 5G New Radio (NSA 5G NR, или NSA NR), обозначаемого как спецификация 3GPP-NSA 5G NR Release 15. Это так называемая "фаза 0" стандарта 5G.

добавим, относительно бюджетную). Разумеется, лучше сделать это на первых шагах "Нового Радио".

Спецификация стандарта NSA 5G NR станет основой для коммерческих 5G-продуктов таких производителей оборудования и провайдеров услуг, как Ericsson, Huawei, Nokia, LG и Qualcomm, AT&T, NTT DOCOMO, Orange, SK Telecom, Sprint, Telstra, T-Mobile US, Verizon, Vodafone и др. Операторы и производители оборудования могут начать работу над новым "железом" уже сейчас, занявшись тестированием своих продуктов на совместимость. Начало коммерческой эксплуатации сетей намечено на 2019 г. Что пока получается?

Прежде всего, 5G NR является основой для сети 5G нового поколения также, как LTE для 4G. Это — международный стандарт для нового радиоинтерфейса, который обеспечит поддержку всех устройств и сервисов 5G, призванный повысить производительность, эффективность, масштабируемость и гибкость существующих сетей. 5G NR подразумевает поддержку диапазонов частот 600, 700 МГц, 3,5 и 50 ГГц. При этом NSA 5G NR — это промежуточный стан-

требованиями к транспортному каналу между указанными выше элементами под названием "усовершенствованный общий открытый радиоинтерфейс eCPRI". Использование спецификаций eCPRI может позволить передавать информацию между центральным узлом и базовыми станциями через пакетные сети, работающие по протоколам Ethernet или IP, если эти сети будут удовлетворять требованиям по пропускной способности и задержке в радиоподсистеме.

К настоящему времени разработаны некоторые целевые сценарии использования сетей 5G:

— eMBB (enhanced Mobile Broadband) — улучшенный мобильный широкополосный доступ;

— mMTC (massive Machine Type Communications) — массовое подключение и обмен данными между машинными терминалами (для Интернета вещей);

— URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications) — сверхнадежная связь с малыми задержками.

На данный момент в релизе 15 3GPP спецификаций прописаны процедуры для сервисов eMBB. В первом квартале 2018 г. должны быть завершены работы над процедурами для поддержки URLLC. Сервисы mMTC ожидаются в релизе 16 3GPP.

Основная задача, решаемая базовыми станциями 5G, — максимально возможное количество абонентских терминалов, обслуживаемых одновременно с максимально возможной пропускной способностью. Радиоинтерфейс в сетях 5G NR специфицирован для диапазонов частот до 40 ГГц и базируется на технологии ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM). На данный момент решено для систем 5G на линии "вниз" использовать технологию CP-OFDM (Cyclic Prefix — Orthogonal Frequency Division Multiplexing) или ортогональное частотное мультиплексирование с использованием циклического префикса. А для линии "вверх", помимо CP-OFDM, есть возможность также использовать технологию DFT-S-OFDM (Discrete Fourier Transform — Spread — Orthogonal Frequency Division Multiplexing) или ортогональное частотное мультиплексирование с преобразованием Фурье.

Как и в системах LTE, в частотной области 5G поднесущие OFDM объединяются в ресурсные блоки группами по 12 последовательных поднесущих. В отличие от системы LTE, размер ресурсного блока на несущей NR варьируется в зависимости от разнеса между поднесущими.

Во временной области, как и в системах LTE, ресурсы объединяются в кадры длительностью 10 мс, состоящие из десяти субкадров (каждый по 1 мс). В отличие от системы LTE, число символов OFDM в кадре и субкадре варьируется. Минимальный интервал передачи — слот формируется из 14 символов при использовании обычного циклического префикса и из 12 символов в случае расширенного циклического префикса (необходим для обеспечения

связи в сотах большого радиуса, применяется только при разнесе поднесущих 60 кГц). Кроме того, для поддержки сервисов с минимальными задержками (URLLC) применяются мини-слоты — интервалы передачи с числом символов два, четыре или семь. Таким образом, наименьший достижимый интервал передачи в системе 5G может составлять ~18 мкс (при разнесе поднесущих 120 кГц). Это определяет теоретически минимальную задержку передачи пакетов в радиоподсистеме NR, которая примерно на порядок больше длительности минимального интервала передачи.

Одним из кардинальных изменений в технологии 5G, по сравнению с LTE, является использование во всех релизах NR массивных многоантенных

В целом технология Massive MIMO позволяет в несколько раз увеличить пропускную способность системы по сравнению с технологией MIMO. Другим неоспоримым достоинством этой технологии является значительное улучшение радиопокрытия как на линии "вниз", так и на линии "вверх".

С учётом особенностей распространения электромагнитных волн при использовании диапазона СВЧ, в сетях 5G дальность связи будет относительно небольшой, поскольку всегда определяется возможными абонентского терминала, а не базовой станции. Поэтому для улучшения радиопокрытия по линии "вверх" предусмотрена возможность использования в более низком диапазоне частот дополнительной несущей (Supplementary Uplink).

Таблица 2

	4G, релиз 10 3GPP	5G, релиз 15 3GPP
Радиоинтерфейс	CP-OFDM на линии "вниз"; DFT-S-OFDM на линии "вверх"	CP-OFDM на линии "вниз"; CP-OFDM или DFT-S-OFDM на линии "вверх"
Разнос между поднесущими	7,5 или 15 кГц	15, 30, 60, 120, 240 кГц
Ширина полосы радиоканала	до 20 МГц	до 400 МГц
Модуляция	до 64QAM (позднее — до 256QAM)	до 256QAM
Кодирование	Turbo	LDPC
Технология MIMO	MIMO до восьми пространственных уровней на линии "вниз" (позднее Massive MIMO до восьми пространственных уровней на линии "вниз")	Massive MIMO до 12 пространственных уровней на линии "вниз"

систем Massive MIMO (Massive Multiple-Input-Multiple-Output). Это антенные системы на базовых станциях с большим числом (более восьми) управляемых антенн с узконаправленными лучами (и соответствующим числом приёмно-передающих трактов). Разумеется, в компактных абонентских терминалах столько антенн не используется, и в настоящее время в спецификациях релиза 15 3GPP включено требование по поддержке как минимум четырёх приёмных и двух передающих антенн. Таким образом, Massive MIMO позволяет эффективно сформировать фиксированный набор узконаправленных лучей, между которыми происходит переключение обслуживания абонентского терминала при перемещении последнего относительно базовой станции (как это обычно происходит в мобильной связи при переходе от соты к соте). Massive MIMO позволяет также эффективно реализовать многопользовательские схемы MIMO (Multi User MIMO), когда несколько пользователей обслуживаются в разных пространственных сегментах, разных лучах диаграммы направленности антенны, и им предоставляются одни и те же частотно-временные ресурсы радиоканала.

В настоящее время для базовых станций в релизе 15 3GPP специфицированы процедуры поддержки до 32 передающих трактов (antenna port) и до восьми пространственных уровней (layer) на линии "вниз". А в случае реализации MU-MIMO можно сформировать до 12 пространственных уровней.

Разумеется, радиоинтерфейс 5G релиза 15 3GPP является дальнейшим развитием радиоинтерфейса 4G/LTE-Advanced (релиз 10 3GPP). Их сравнение приведено в табл. 2.

Нетрудно заметить, что основные технологии радиоинтерфейсов 4G и 5G и даже многие их параметры совпадают. Однако имеются существенные различия между производительностью и эффективностью систем этих поколений. Даже без учёта выигрыша от Massive MIMO спектральная эффективность в системе 5G может быть по предварительным оценкам на 50...80 % выше, чем в системе 4G за счёт:

— снижения объёма передаваемой служебной информации, например, уменьшения доли пилот-сигналов;

— более эффективных методов подавления и компенсации помех от соседних сот, например, путём переключения между пространственными лучами или комбинирования сигналов разных лучей, включая лучи разных сот;

— более эффективного использования частотных ресурсов при снижении доли защитных полос на каждой несущей;

— более эффективного использования временных ресурсов в системах с временным дуплексом за счёт динамического переключения между линиями "вверх" и "вниз" в зависимости от профиля трафика.

Теперь немного о практическом применении, которых будет ещё много. В ходе Всемирного мобильного конгресса 2017 (WMC 2017) в Шанхае компании

China Mobile, SAIC Motor и Huawei продемонстрировали первую в мире технологию дистанционного управления легковым автомобилем, созданную на базе 5G. Демонстрация подтвердила возможности высокой пропускной способности и малой задержки в С-диапазоне (4...8 ГГц), тем самым заложив фундамент для развития технологии подключённых "умных" автомобилей с дистанционным управлением в будущем. Водитель находился более чем в 30 км от автомобиля. Несколько камер с высоким разрешением, установленных в автомобиле, отправляли водителю видеосигналы в HD-качестве в режиме реального времени, тем самым предоставляя ему панораму обзора в 240°, передаваемую по сети 5G в диапазоне 3,4...3,6 ГГц. Подобный обзор превосходит поле зрения человека, которое в среднем составляет 180...190°. Команды управления передавались на рулевое колесо, педали газа и тормоза, а сеть 5G обеспечила сверхмалую задержку (менее 10 мс, при этом собственная задержка в радиointерфейсе 5G была менее 1 мс), необходимую для мгновенной реакции в различных дорожных ситуациях. Водителю удалось постоянно сохранять полный контроль над автомобилем, хотя тот находился на значительном расстоянии от него.

Технология дистанционного управления транспортным средством обладает широким спектром потенциальных

сценариев применения, особенно она полезна в неблагоприятных или опасных условиях, например, в шахтах или на свалках. Дистанционная работа более эффективна и при дорожных работах, например, при уплотнении грунта катком на большой территории. С помощью этой технологии один человек может управлять целым парком транспортных средств или, например, проводить спасательные операции в зонах стихийных бедствий.

На WMC'2018 компания Nokia представила свою архитектуру Future X для 5G, которая служит основой для создания новых процессоров, технологий 5G и сопутствующих сервисов. Причём это была полномасштабная сеть, обеспечивающая увеличение пропускной способности ячейки сети в три раза и снижение стоимости эксплуатации на 30 %, что достигается за счёт автоматизации и использования искусственного интеллекта. Nokia 5G Future X поддерживает небывало высокий уровень производительности благодаря новому чипсету Nokia ReefShark, который также napолвину сокращает габариты антенн Massive MIMO, расширяет возможности их установки и на 64 % снижает энергопотребление. Технология формирования антенного луча с функциями искусственного интеллекта позволяет сетям следовать за перемещающимися мобильными устройствами, расширять зоны покрытия и увеличивать сетевую

ёмкость там, где это действительно необходимо.

Сеть 5G Future X эффективно масштабируется в соответствии с колебаниями трафика и мгновенно реагирует на появление новых услуг и приложений, прикреплённых к виртуальным сетевым сегментам. Сопутствующие решения Nokia 5G для опорных сетей, таких как Cloud Packet Core, сочетают облачные архитектурные возможности, включая программное разделение сетевых функций.

Согласно правительственной программе "Цифровая экономика", в России связь по сетям 5G должна начать осуществляться в 2019 г. и 2020 г. При этом технологии NSA 5G NR будут протестированы во время чемпионата мира по футболу, для чего отечественным операторам мобильной связи выданы соответствующие разрешения. Во всяком случае, у них будет реальная возможность убедиться, каким получился у индустрии 5G "первый блин".

По материалам Qualcomm, Nokia, Huawei, Ericsson, Intel, mforum.ru, cnews.ru, mediasat.info, tadviser.ru, а также Л. Варукина. 5G: Низкий старт для систем мобильной связи пятого поколения. — URL: <http://www.mforum.ru/news/article/118728.htm> (22/02/18).