5G на пороге

Впервые о сетях мобильной связи пятого поколения (5G), именно в привязке к конкретным технологиям, специалисты начали говорить на рубеже 2012–13 годов (хотя первые публикации о технологиях, которые сегодня относят к 5G, появились на четыре-пять лет раньше). Все серьезные игроки рынка беспроводной связи активно включились в эту "гонку". Мы обратились к ведущим компаниям данной сферы с просьбой поделиться своим видением движения к 5G.

Новое поколение сетей связи – это новый уровень скоростей, обусловленный новыми видами передаваемого трафика. Так, голосовой трафик и СМС в сетях 2G дополнила передача картинок в 3G, а сети 4G ориентированы в первую очередь на передачу видепотоков. Какие новые виды потоков данных потребуют дальнейшего роста скоростей? Какие услуги для абонентов могут стать драйверами для внедрения сетей 5G?

В.Ким, старший менеджер департамента беспроводных технологий компании Alcatel-Lucent в России и СНГ

Технология 5G предназначена охватить широкий спектр вариантов использования, включая такие, как, например, высокие скорости кодирования для поддержки HDTV и 3D, что повлечет за собой повышение требований к величине пропускной способности канала, предоставляемого конечному пользователю. Не менее важными являются и другие виды услуг, такие, как общественная безопасность и виртуальная реальность, которые влекут за собой необходимость уменьшения задержки в информационном канале и внедрение современных методов видеокодирования. Данные виды сервисов работают эффективнее при стабильной величине пропускной способности, нежели чем при обеспечении высоких пиковых значений.

Наконец, есть концепция "Интернет вещей" (IoT), реализация которой сама по себе не требует ни увеличения пропускной способности, ни уменьшения времени ожидания, однако будет стимулировать технологию 5G массово поддерживать более высокую плотность устройств, и тем самым будет выходить за рамки решений предыдущего поколения 4G.

Д.Масельский, генеральный директор Ericsson в России

В сетях по всему миру уже работают более 3 млрд. пользовательских мобильных устройств – мобильные терминалы либо устройства, обеспечивающие мобильный широкополосный доступ и интегрированные в переносные компьютеры и планшеты. И это без учета M2M-подключений. В будущем ожидается, что число подключенных устройств, задействованных в умных городах, умных домах и интеллектуальных энергосетях, превысит количество пользовательских устройств в 10–100 раз.

Обеспечить бесперебойную работу 50 млрд. (а возможно и 500 млрд.) устройств – задача непростая. Вместе с ростом количества подключаемых устройств будут значительно возрастать и требования к сети. Потоковое видео, файлообменные сети и облачные сервисы по-прежнему будут оставаться наиболее популярными приложениями, требуя

все более высоких скоростей. В офисных помещениях и городской среде, где плотность обращений к сети наиболее высокая, необходимо обеспечить скорость передачи данных в несколько Гбит/с. Такая скорость позволит синхронизировать локальные хранилища с облачными и сетевыми дисками, передавать видео сверхвысокой четкости и поддерживать работу приложений виртуальной и дополненной реальности.

Высокая надежность связи пятого поколения позволит создавать новые приложения для сетей электропередачи, транспорта, электронных услуг в области здравоохранения и систем управления умными городами. Благодаря высоким скоростям передачи данных, применяемым в 5G, в этих областях станет возможным дистанционный видеомониторинг и наблюдение. За счет сокращения времени отклика сервера до нескольких милиили микросекунд, в 5G возможна безопасная работа приложений, предназначенных для компаний из самых разных отраслей, а также рядовых пользователей.

Другими словами, с развитием мобильных сетей и их адаптацией к новым типам устройств и услуг – от интеллектуальных электросчетчиков, автомобилей и подключенных бытовых приборов до промышленных объектов – к ним выдвигаются новые и самые разнообразные требования. В этой связи, подход "одна технология для всех" вряд ли может быть эффективным для обеспечения растущего числа разнообразных потребностей со стороны бизнеса, общества и отдельных пользователей. Прозрачная интеграция существующих и новых технологий будет способствовать повышению качества пользовательского опыта и появлению целого ряда новых услуг.

К.Коловский, старший менеджер департамента маркетинга компании Huawei в России

Помимо "утяжеления" уже предоставляемых услуг, в частности, передачи видеопотоков в форматах 4K и 3D, драйверами для внедрения сетей 5G станут массовое распространение услуг M2M, а также широкое развитие разнообразных облачных услуг. Массовое предоставление таких услуг повышает требования не только к скорости передачи, но и к задержкам в сети, а также к ее емкости.

Р.Николс, менеджер направления 5G компании Keysight Technologies

Предполагается, что сети беспроводной связи пятого поколения смогут обеспечить не только более высокую скорость передачи данных, но и значительно меньшее время задержки (время от запроса до отклика). Четвертое и предыдущие поколения являются важнейшими техническими достижениями в области связи, но они близки к своему пределу вследствие ограничений по скорости и стабильности (включая время задержки).

Потребность в повышении скорости передачи данных будет продолжать расти: многие в отрасли еще помнят времена, когда казалось, что 1 Мбит/с – это максимум, который нам когда-либо понадобится. Поэтому данные и услуги, для которых требуются значения скорости и времени задержки, предусмотренные в сетях 5G, могут быть сгруппированы в две категории: те, появление которых ожидаемо, и те, возникновение которых мы не можем прогнозировать. Так, например, достаточно легко предугадать потребность в загрузке и потоковой передаче видео сверхвысокого разрешения (Ultra-High Definition) в сетях беспроводной связи с относительно высокой численностью абонентов. Понятно, что эта технология потребует более высокой скорости передачи и меньшего времени задержки по сравнению с фактическими пределами, обеспечиваемыми сетями 4G. Однако при этом существует еще бесчисленное множество приложений беспроводной связи, которые активно используются сегодня, но возможность появления которых специалисты отрасли не могли предвидеть даже пять лет назад.

Вполне вероятно, что в скором времени могут появиться самые разнообразные сервисы – от возможности оказания удаленной экстренной медицинской помощи при дорожно-транспортных происшествиях до многоракурсного отображения спортивных мероприятий (например, футбола) с помощью множества беспроводных видеокамер, размещенных вокруг стадиона.

А.Дойников, заместитель директора департамента мобильных решений ЗАО "NEC Нева Коммуникационные Системы"

5G является предметом международной исследовательской деятельности, цель которой – достижение скорости связи в 10 Гбит/с или более, способной обеспечить новые услуги на основе передачи видео с высоким разрешением. 5G должна обеспечить поддержку большого количества терминалов (в 100 раз больше) для поддержки M2M и IoT, снижение задержек, стоимости, энергопотребления, а также ряд других дополнительных преимуществ. Ожидается, что благодаря увеличению емкости LTE более чем в тысячу раз, 5G поможет обеспечить более глубокое проникновение на рынок мобильных терминалов и справиться с резким ростом трафика в беспроводных сетях.

Л.Варукина, эксперт по радиотехнологиям Nokia Networks

Сотовая связь в настоящее время ориентирована на обслуживание пользователей-людей, а через несколько лет мобильный широкополосный доступ должен будет удовлетворять потребности самых разнообразных устройств, объединенных в IoT. Машины могут потреблять любые объемы информации (тогда как потребности и возможности человека ограничены), а также могут генерировать огромные объемы за очень короткий промежуток времени. Примером может быть HD-камера.

Очень много сейчас говорят о разработке самоуправляемых автомобилей и об интеллектуальных средствах обеспечения безопасности на транспорте. Для такого типа подключенных к сети устройств самым главным требованием станут малые задержки в передаче и обработке пакетов информации. Помимо высокой емкости и малых задержек к сетям будут предъявляться требования по числу подключенных устройств (ожидается, что число машинных пользователей будет значительно больше обычных пользователей-людей).

Должны быть разработаны технологии радиодоступа, гарантирующие низкое энергопотребление для автономных модемов, например, для подключения удаленных датчиков, которые относительно редко передают данные и предполагается, что будут работать несколько лет без перезаряда аккумулятора. Таким образом, с пятым поколением связаны ожидания по самым разнообразным сценариям использования мобильной связи, и технические решения – компоненты 5G – по их поддержке будут серьезно различаться.

Какие технологические тенденции, достижения, тренды формируют техническую базу для построения сетей 5G?

В.Ким. Утверждение стандартов 5G только ожидается к 2018 году, поэтому сегодня мы можем лишь предполагать, что будет необходимо для построения сетей 5G. Наше текущее представление, основанное на опубликованных исследованиях, требованиях операторов и результатах наших разработок в Bell Labs, заключается в том, что 5G потребуют новых технологий радиосвязи, значительного развития сетевых технологий и более гибкого подхода к управлению услугами.

Радиоинтерфейс технологии 5G задействует "низкий" и "высокий" диапазоны частот с применением новых форм радиосигналов, разработанных для использования антенн MIMO высокого порядка. "Низкий" диапазон охватывает существующие полосы, отведенные для сотовой связи, от 400 МГц до 6 ГГц. В данном диапазоне мы видим новую технологию 5G, предлагающую широкую зону покрытия новыми сервисами с низким временем ожидания и энергоэффективными способами передачи коротких транзакций. Этот диапазон предоставит возможность повторно использовать установленную базу сетей LTE, обеспечивая высокую пропускную способность сети для поддержки смартфонов.

"Высокий" диапазон, как ожидается, будет располагаться в полосе частот свыше 20 ГГц, и будет задействован только в малых сотах для обеспечения большой емкости сети в районах с высокой концентрацией трафика.

Эти две технологии 5G в сочетании с существующими макро- и малыми сотами LTE и WLAN будут связаны друг с другом совместным использованием механизмов агрегации несущих (carrier aggregation) и двойного подключения (dual connectivity) между сотами. Мы видим большой потенциал использования новых технологий радиосвязи, таких, как Universal Filtered (UF) OFDM и систем MIMO высокого порядка в "низком" и "высоком" диапазонах.

Д. Масельский. 5G – это полностью интегрированное сочетание усовершенствованных беспроводных и дополнительных технологий, реализация которого запланирована уже к 2020 году. В отличие от сетей 3G и 4G, построенных на базе технологий WCDMA и LTE, под 5G понимается целый комплекс технологий – как существующих, так и новых. Основой решений для мобильного доступа будут выступать развивающиеся технологии HSPA и LTE, интегрированные с новыми технологиями, предназначенными для специфических нужд. Большие антенны, широкий спектр частот и улучшенная координация работы базовых станций также будут формировать экосистему 5G.

К. Коловский. Использование широких радиочастотных каналов в любом доступном частотном спектре, от 100 МГц до 100 ГГц, с возможностью агрегации большого количества радиоканалов в самых разных диапазонах частот.

Новые алгоритмы модуляции и кодирования радиосигнала, позволяющие максимально эффективно использовать радиоресурсы с учетом диапазона частот, качества радиоканала и его загруженности, а также гибко перераспределять ресурсы с учетом потребностей отдельных абонентов и услуг.

Новая архитектура радиомодулей, поддерживающая режим множественного ввода-вывода MIMO очень высоких порядков, например 1024 x 1024 за счет интеграции оборудования приемопередатчика и антенны в единое компактное устройство ("радиоантенна"). Это позволит формировать из таких компактных и стандартных устройств любые конфигурации базовых станций, управлять диаграммой направленности антенн в реальном времени и значительно повысить эффективность использования радиоресурсов.

Новые технологии дуплексирования, возможности использования полнодуплексной передачи в едином радиочастотном канале, позволят гибко и динамично перераспределять емкость радиоресурса между восходящим и нисходящим потоками данных, в зависимости от изменений модели трафика и текущих потребностей абонентов.

Новые технологические прорывы потребуются и в части абонентских терминалов, которые должны будут адаптироваться к самым разным сценариям применения – от технологических датчиков со сверхнизким потреблением энергии до устройств сверхскоростной передачи данных. Для снижения потребления энергии при повышении скорости передачи данных от терминалов потребуется эффективная поддержка мультиантенных технологий. Кроме того, планируется реализация поддержки прямой связи между терминалами, что позволит повысить эффективность передачи информации между ними, а также использовать абонентские терминалы в качестве ретрансляторов и значительно повысить качество покрытия сетей радиодоступа.

Р. Николс. В настоящее время большинство ведущих представителей отрасли проводят исследования самых разных технологий. Более высокие скорости передачи данных потребуют небывало широкого использования коммерческих систем связи с частотой несущей более 6 ГГц. Это означает необходимость создания энергоэффективных приемопередатчиков миллиметрового диапазона с шириной полосы частот информационного канала, возможно, не менее 3,5 ГГц. В свою очередь, это влечет за собой разработку новых видов модуляции и механизмов множественного доступа, основанных на использовании направленных антенн, направленность и ширина луча которых контролируются на MAC-уровне стека протокола радиоинтерфейса. Все эти нововведения должны быть реализованы в точке доступа/базовой станции и мобильном устройстве. При этом, видимо, самым трудным будет сделать их доступными для использования в коммерческих системах связи.

При значительном увеличении плотности сети для повышения эффективности использования энергии потребуется применение принципиально новых подходов. Это означает, что для внедрения ряда технологий – от Massive MIMO до линеаризации усилителя – потребуются инновационные решения, к исследованиям которых приступили только сейчас.

Архитектура самой сети доступа потребует изменений, чтобы соответствовать множеству новых принципов: расширение функциональной виртуализации сети в сеть радиодоступа (централизованная или облачная RAN,

C-RAN); преобразование эвристических алгоритмов мобильного взаимодействия для оптимизации использования энергии или организации взаимосвязей, а не оптимизации соотношения "сигнал-шум"; разделение плоскости управления и плоскости пользователя между базовыми станциями (БС) eNodeB (eNB); а также управление обменом информацией между устройствами.

Требуют инноваций даже те технологии, которые касаются несущих с частотами менее 6 ГГц. Многие компании ведут исследования возможных способов изменения радиоинтерфейса для систем связи с шириной полосы частот менее 6 ГГц, которые позволили бы обеспечить более высокую эффективность использования энергии при межмашинной передаче данных. Кроме того, они прикладывают значительные усилия для того, чтобы сделать стандарты радиодоступа к лицензированным и нелицензированным диапазонам частот более прозрачными для пользователя и устройства.

Наконец, скорость передачи цифровой информации из точки А в точку В по проводным каналам (медь или оптоволокно) должна стать намного выше, учитывая стремительный рост объема передачи данных, потребность в снижении времени задержки и появление более мощных устройств и их сетевых аналогов. Неважно, какое расстояние между А и В – километры или миллиметры, для того чтобы перспективы появления сетей 5G стали реальностью, скорость передачи данных должна быть на порядки выше, чем сейчас.

А.Дойников. В мае 2014 года NEC Corporation достигла соглашения с оператором связи NTT DoCoMo о проведении совместных испытаний, направленных на практическое развитие технологий мобильной связи пятого поколения. Совместно с NTT DoCoMo корпорация NEC намерена использовать свои ключевые технологии и ноу-хау в области малых сот, программно-конфигурируемых сетей (SDN) для скорейшего внедрения технологии 5G. Так, компании планируют проверить технологические возможности использования в 5G активных антенных систем AAS с адаптивным форированием луча (Beamforming) с большим числом (более 100) антенных элементов для малых сот. Ожидается, что это поможет улучшить технологию MU MIMO, которая обеспечивает доступ к сети для множества пользователей одновременно, в то же время уменьшая помехи, повышая качество связи, увеличивая скорость передачи данных и емкость сети.

Л.Варукина. Выделю четыре:

- Освоение новых диапазонов частот. Опыт показывает, что появление нового поколения сотовых сетей, как правило, связано с новыми диапазонами частот. Новые диапазоны для внедрения 5G – сантиметровые и миллиметровые, от 6 ГГц до 100 ГГц.
- Гетерогенные сети. Естественно в силу ограничений в распространении радиоволн в см- и мм-диапазонах эти частоты будут использоваться в сотах малого радиуса. Сети 5G будут многоуровневыми – гетерогенными с макро-, микро-, наноуровнями.
- Облачные технологии. Повсеместный переход к облачным технологиям и услугам потребует быстрого широкополосного доступа в интернет со скоростями на порядок выше, чем в настоящее время.
- Интернет вещей. Автоматизация многих процессов в индустрии и в обычной жизни потребует наличия соединений с миллиардами устройств.

Каким именно ваша компания видит облик сетей 5G? Что уже сделано в данном направлении?

В.Ким. Компания Alcatel-Lucent активно вовлечена в научные исследования в области технологии 5G. Более 50% всей команды Bell Labs работает над беспроводным доступом 5G. Мы играли ведущую роль в финансируемых ЕС проектах METIS и 5GNOW, являемся одним из основателей 5GPPP и принимаем активное участие в ряде национальных, региональных и глобальных организаций, включая МСЭ-Р, NGMN, 3GPP и 4G Americas, деятельность которых в настоящее время сфокусирована на 5G. Одним из примечательных успешных событий стала демонстрация нашего решения в области технологии формирования радиосигнала UF-OFDM, представленная на Globecom 2014.

Д.Масельский. Компания Ericsson принимает активное участие в разработке технологий мобильной связи пятого поколения. В роли координатора проекта METIS Ericsson взаимодействует с глобальными лидерами телекоммуникационной отрасли с целью формирования общего видения и создания единого технологического решения. Хотя 5G пока не является утвержденным стандартом, новое поколение связи уже перестало быть просто концепцией: многие операторы строят планы стратегического развития с учетом внедрения технологий связи

пятого поколения. Мы уже провели ряд тестирований с ведущими операторами. Так, например, в ходе такого испытания, в котором принимали участие представители японского оператора NTT DoCoMo и южнокорейского SKTelecom, нам удалось передать данные со скоростью 5 Гбит/с. В данном тесте использовалась полоса 400 МГц в диапазоне частот 11 ГГц. Передача осуществлялась с автомобиля, движущегося со скоростью около 9 км/ч с использованием антенны, состоящей из 8 элементов, работающих на передачу, и антенны из 16 элементов, осуществляющих прием.

Недавно мы подписали меморандум о взаимопонимании с сингапурским оператором SingTel, в рамках которого намерены изучать перспективы сетей 5G и возможности использования связи этого поколения индивидуальными пользователями и бизнесом. Кроме того, мы планируем изучить, как 5G может помочь в развитии сингапурской концепции "Умная нация".

К.Коловский. Мы видим сети 5G как универсальные сети радиодоступа, полностью интегрированные с сетями предыдущих поколений (3G, 4G, Wi-Fi) как на уровне радиоканалов, так и на уровне ядра сети. Эти сети будут работать на нескольких уровнях: пико-, микро-, макро- и даже терасоты, поддерживая большое количество диапазонов частот и обеспечивая подключение огромного количества абонентов, в том числе машин, со скоростями до 10 Гбит/с, нулевыми задержками, в любом месте и в любое время. Важным условием готовности сетей 5G к долгосрочной эволюции с минимальными затратами является построение сетей по "облачному" принципу, когда все функции сетевых элементов и все абонентские услуги реализуются за счет развертывания соответствующего программного обеспечения на единой стандартной аппаратной платформе. Такая облачная архитектура сети позволит быстро и с минимальными издержками реализовывать новые услуги для абонентов и новые сетевые технологии для операторов.

Р.Николс. Компания Keysight Technologies (ранее – Группа электронных измерений компании Agilent, а до этого – Hewlett-Packard) является ведущим мировым производителем контрольно-измерительного оборудования для всех поколений сотовой связи, начиная с аналоговых стандартов в 80-х годах прошлого столетия. В настоящее время мы помогаем многим компаниям и научно-исследовательским организациям в их работах по изучению 5G и, конечно же, продолжим делать это в качестве технологического лидера в области электронных измерений для сетей 5G.

Системы 5G представляют большой интерес для Keysight, потому что разработчики средств связи нового поколения сталкиваются с широким спектром технических проблем, для решения которых наша компания имеет отличные возможности. Как я уже говорил, мы проводим исследования по широкому спектру технических дисциплин, а также выпускаем обширную номенклатуру приборов и программного обеспечения. Наши специалисты обладают необходимым опытом и знаниями, позволяющими инженерам познать суть изучаемых явлений "от А до Я" путем проектирования, моделирования, эмуляции, калибровки и тестирования.

А.Дойников. Ожидается, что к 2020 году, когда будут реализованы высокая скорость и большая емкость нового стандарта, технологии 5G будут востребованы в широком спектре областей. Например, в сфере общественной безопасности, где обязательным требованием является обеспечение коммуникаций в случае возникновения стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций, в образовании, а также в медицинской практике.

Л.Варукина. Сети 5G будут представлять собой симбиоз самых разнообразных технологий. Для повсеместного покрытия – традиционная для нас макросеть. Самые высокие скорости и самые малые задержки – в сверхплотных сетях (UDN – Ultra Dense Networks) в сотах малого радиуса. Прямое соединение между близко расположенными устройствами, минуя привычную инфраструктуру сети. Облачная инфраструктура вместо традиционных сетевых элементов – SDN.

В каждом из этих направлений ведутся исследования. Активно внедряются облачные технологии. Работаем над элементами сверхплотных сетей – часть наработок собираемся презентовать на конгрессе MWC 2015 в Барселоне.

Специалисты разных компаний, как правило, называют 2020 год как дату начала строительства сетей 5G. Недавно один из российских операторов удивил, озвучив свои планы оказывать услуги на базе этой технологии уже в 2018 году – на аренах Чемпионата мира по футболу. Когда можно ожидать появления коммерческих образцов оборудования 5G, соответствующей измерительной техники, первых пилотных сетей?

В.Ким. Наше текущее представление заключается в том, что стандартизация технологии

5G будет завершена в 3GPP как часть Release 15 и, соответственно, совместимое оборудование должно быть готово к появлению первых коммерческих сетей в 2020 году. До этой даты будут пилотные проекты и демонстрации решений технологии 5G, но они будут основываться на "предстандартизованном" оборудовании.

К.Коловский. По нашим оценкам, стандарт 5G должен быть зафиксирован в 3GPP в 2017–2018 годах, первое коммерческое оборудование и первые пилотные сети появятся в 2018–2019 годах, а массовое коммерческое развертывание ожидается после 2020 года.

Р.Николс. И Россия, и Корея поставили себе цель продемонстрировать технологию 5G в 2018 году – в ходе Чемпионата мира по футболу и Зимних Олимпийских игр соответственно. Это будет предварительная демонстрация новых технологий, которая обеспечит представление захватывающих перспектив того, что нас ждет в будущем. Разрыв во времени между вводом в строй первых коммерческих сетей второго и третьего поколения составил приблизительно десять лет, примерно столько же занял переход от 3G к 4G. Учитывая технологические проблемы, которые придется решать при переходе от 4G к тому, что предположительно будет 5G, нет никаких оснований полагать, что это займет такое же время. Технология является не единственной движущей силой, так как промышленность определяется также и политикой и, как правило, должна функционировать в рамках реальных бизнес-моделей главных игроков. В настоящее время доступно испытательное оборудование, которое способно выполнять ряд измерений, востребованных в пространстве 5G, и которое будет продолжать совершенствоваться по мере перехода от научных исследований к разработкам и испытаниям.

А.Дойников. 2020 год можно считать целевой датой начала коммерческого внедрения 5G с учетом того, что работы по стандартизации начинаются в 2016 году, а без стандартов невозможно появление коммерческого оборудования, прежде всего, абонентских терминалов. Начало наших совместных испытаний 5G с NTT DOCOMO запланировано на 2015 год.

Л.Варукина. Приходу технологических новинок всегда предшествуют маркетинговые кампании с громкими заявлениями. Мы в ближайшие годы услышим еще о множестве "пионеров". Но факт остается фактом, успех любой технологии в сотовой индустрии покоится на трех китах:

1. Стандартизация. Тщательно прописанные протоколы и технические параметры сетевых элементов и интерфейсов для взаимодействия между сетевыми элементами разных производителей. Спецификации 5G начнут разрабатывать примерно в 2018 году, ожидаем завершения стандартизации примерно в 2020 году.
2. Эффективность технологии. Технологический рывок, оправдывающий революционный переход к новому поколению радиоинтерфейса и отказ от эволюционного пути развития (как правило, менее дорогостоящего).
3. Развитая экосистема. Поддержка новых технологических решений множеством производителей как инфраструктурного, так и абонентского оборудования.

К 2018 году мы иметь вышеперечисленного еще не будет. Возможно, будут показаны предстандартные проприетарные решения с прототипами абонентских терминалов. Да и сами названия терминалов "5G", "4G" большее отношение имеют к маркетингу, у них нет четкого технического определения. Помните, как при запуске WiMax операторы рекламировали эту технологию как "4G"? Есть и другие примеры – реклама технологии "4G+", что это?

Под аббревиатурой 5G (как и всех предыдущих поколений) понимают прежде всего сети беспроводного абонентского доступа. Какие изменения в облике опорных и магистральных сетей может повлечь внедрение 5G?

В.Ким. В дополнение к радиотехнологиям, упомянутым выше, Alcatel-Lucent ожидает, что решения 5G также потребуют достижений в области сетевых технологий, которые будут использовать преимущества обобщения виртуализированных сетевых функций, комбинации систем управления транспортными сетями стандартов 3GPP, IP и SDN и решений по управлению услугами на основе новых политик. Сочетание этих факторов позволит подстроить радио- и сетевые решения под конкретные требования каждого пользователя в любой момент времени. То есть, мы ожидаем, что сеть 5G будет адаптироваться к конечному пользователю, а не пользователь будет адаптироваться к сети.

Д.Масельский. Внедрение 5G будет влиять и на инфраструктуру сетей связи, и на технологии доступа. Рост числа различных подключенных устройств и объема передаваемых данных

в тысячи раз (до 500 Гб на устройство в месяц) предъявляет комплексные требования к развитию стандарта 5G, который объединяет различные частотные диапазоны, разную логику взаимодействия с сетью и ее аппаратные подуровни. Так, например, в радиоинтерфейсе 5G используются MIMO-технологии.

В рамках работы над 5G Ericsson уделяет большое внимание созданию новых антенн, позволяющих использовать более широкий диапазон частот и минимизировать задержки в передаче данных. Специально для тестирования 5G были спроектированы БС с новым модулем BBU (Base Band Unit) и радиомодулем (Radio Unit). Для развития 5G принципиальное значение имеют и разработки в области технологий малых сот (в архитектуре гетерогенных сетей), новых частотных диапазонов (включая диапазон 15 ГГц) и транспортных сетей связи с повышенной пропускной способностью.

Стоит отметить, что технологии 5G к 2020 году и после потребуют значительно большего диапазона частот и более широких несущих в целях поддержки ожидаемого прироста трафика и еще более высоких скоростей передачи данных; и это не считая уже ведущихся работ по поиску новых частотных диапазонов для современных сетей LTE и HSPA.

По мнению Ericsson, для удовлетворения международных требований будет необходимо сверхплотное развертывание сетей, БС которых будут использовать очень широкую полосу пропускания (несколько сотен МГц с возможностью расширения до нескольких ГГц) в верхних диапазонах частот – 10–100 ГГц. Предположительно сети будут состоять из маломощных БС, устанавливаемых вне помещений на интервале расстановки фонарных столбов, внутри помещений – в каждой комнате. Незанятые высокочастотные диапазоны облегчают задачу обеспечения широкой полосы пропускания, а также более подходят для передачи данных на короткие расстояния.

К. Коловский. Большие изменения коснутся и транспортных сетей. От опорных сетей внедрение технологии 5G потребует резкого повышения пропускной способности транспортных каналов, а также универсальность доступа (в том числе с применением технологий point-to-multipoint) и поддержка технологий plug-and-play для быстрого развертывания сети радиодоступа. Частично функции опорной сети будут переложены на саму сеть радиодоступа, так как базовые станции смогут работать в качестве ретрансляторов друг для друга, что позволит оператору быстро расширять покрытие сети 5G. От магистральных сетей, помимо повышения их пропускной способности, также потребуется поддержка технологии SDN, которая позволит быстро реализовывать в транспортной сети новые алгоритмы маршрутизации и обработки трафика только за счет изменения программного обеспечения.

Р. Николс. В моем кратком обзоре технологий, приведенном выше, освещаются некоторые из них, используемые в сетях доступа. Если рассмотреть опорные сети, то можно увидеть, что в них требуется бóльший объем работы по интеллектуальному управлению контентом с целью минимизации использования сетевых ресурсов, оптимизации времени задержки и повышения эффективности использования энергии. Алгоритмы и методы программной оптимизации представляют значительные сложности для современных исследователей. Вместе с тем, будучи решенными, они, в конечном итоге, обеспечат основу развития сетей 5G.

А. Дойников. Несомненно, 5G – это прежде всего технологии RAN, однако для обеспечения пропуска растущих объемов трафика несомненно потребуются существенный рост пропускной способности опорных и магистральных сетей. С точки зрения архитектуры мы ожидаем внедрение в этих сетях технологии SDN. Продолжится переход к реализации функций ядра сети программным способом на основе технологий виртуализации NFV (Network Functions Virtualization).

Л. Варукина. Можно ожидать кардинального изменения архитектуры сети доступа, использование не только классической топологии макросети с транспортом между ядром и каждой базовой станцией, но и локальный выход с БС в интернет, прямая связь между устройствами, релейные функции БС, а внедрение SDN, например, приблизит контент и сетевые шлюзы к БС, и т. п. Но в целом магистральные и опорные сети в следующем десятилетии даже при изменении архитектуры сети доступа только усилят свою роль в доставке колоссальных объемов данных с минимальными задержками между источниками и потребителями данных, число которых и объемы потребляемой информации будут приумножаться ежегодно.

От редакции: итоги и размышления

Термин 5G уже прочно вошел в лексикон специалистов по беспроводным коммуникациям – и не только. Яркое тому подтверждение – этот термин оператор "МегаФон" даже использовал в рекламных целях, обещая развернуть "сети 5G" в 2018 году, к Чемпионату мира по футболу. Спорность такого утверждения очевидна, но сам факт "популистского" упоминания 5G говорит о том, что это понятие уже вышло за пределы узкоспециальных обсуждений и "пошло в массы".

Сегодня направление 5G обретает вполне ясные контуры, что, в частности, явно показали итоги нашего круглого стола. Достаточно четко обрисовались задачи, решить которые призваны системы связи пятого поколения, и технологии, которые можно применять для создания сетей. Уже можно говорить о целях, средствах их достижения и движущих силах новой смены парадигмы систем беспроводной связи – а именно это и означает появление нового поколения системы связи.

Зачем нужны сети 5G?

Итак, что есть цель создания сетей пятого поколения? Первая и очевидная причина – взрывной, экспоненциальный рост трафика в сетях абонентского доступа. По прогнозам, к 2017 году ежемесячный объем трафика превысит $6 \cdot 10^{18}$ байт. К 2020 году объем трафика по сравнению с 2010 годом может вырасти тысячекратно. И это вполне естественно – с развитием микроэлектронных технологий массовый пользователь получил в свое распоряжение недорогое устройство, обладающее огромной производительностью и выдающимися средствами отображения информации. Смартфон, планшет, другие гаджеты из арсенала сегодняшних тинейджеров – это сложнейшие устройства, о которых еще 10 лет назад даже специалисты могли лишь мечтать (часть из них не просто мечтала, но и воплощала мечты в реальность). И все эти устройства – потребители трафика. Чем выше производительность и лучше экран, тем больше трафика. Пока мы видим, что закон Мура продолжает действовать, хоть разрешение микроэлектронных технологии уже и вплотную приблизились к рубежу в 10 нм. Это значит, что тенденция создания все более мощных мобильных устройств продлится и в дальнейшем. Причем речь уже идет не только об увеличении разрешения видеокартинки – хотя недалек тот час (если он уже не пробил), когда на мобильных устройствах все захотят иметь HDTV. Но ведь появится и мобильное 3D-видео, и средства передачи тактильных ощущений, и чего еще только не придумают.

Другая причина, требующая смены парадигмы сетей беспроводного доступа – Интернет вещей, или даже Всеобъемлющий интернет, о котором сегодня столько говорят. С точки зрения телекоммуникаций это означает, прежде всего, взрывной рост активных приемопередающих устройств, причем беспроводных. И все они связаны в одну глобальную Сеть. Уже сам факт появления триллионов новых источников данных способен в корне изменить концепцию построения сети. А ведь речь идет не только о низкоскоростных потоках телеметрии и управления, но и о высокоскоростных потоках, например, видео. Меняется и сама структура каналов – становится актуальной концепция связи M2M через сеть. Речь идет о глобальной связности, о взрывном росте не только скорости в канале, но числа каналов.

Еще одна тенденция, которая сегодня проявляется все ярче – это концепция облачных вычислений. Не вдаваясь в причины, отметим лишь ее суть: процедуры сложной обработки, хранение больших массивов данных стремятся перенести "в облако", то есть в центры обработки данных, распределенные или локальные. И это уже больше чем тенденция – это индустриальный тренд, глобальная смена парадигмы промышленного управления (одно из названий которой – Industry 4.0). Игры и офисные приложения, системы управления промышленными объектами и базы данных из персональных устройств и локальных серверов уходят "в облака". Более того, эта тенденция коренным образом затронула и телекоммуникационные технологии: концепция SDN – не что иное, как перенос функций сложной обработки из распределенных сетевых устройств (маршрутизаторов) в некий центр. А ведь сегодня все больше говорят и об облачных технологиях управления радиосетями доступа. В целом, облачные технологии означают, что наступает эра "больших аналоговых данных" – появляется огромное

множество источников "сырых", необработанных данных, которые по телекоммуникационным каналам должны передаваться в центры обработки. Причем, опять же, подавляющее большинство источников таких данных – беспроводные устройства.

Появление множества источников данных, постоянно растущие потребности в скорости в отдельно взятом канале передачи ведут к росту потребления электроэнергии, необходимой для обеспечение этого процесса. В системах связи появляется новая задача, с которой уже столкнулась область суперкомпьютеров – энергоэффективность.

Помимо скорости, все более важную роль играют времена задержки передачи информации. Если раньше это острее всего сказывалось на биржевых операциях и любителях сетевых игр, то с наступлением эры Всеобъемлющего интернета, эры глобального управления через сеть, Industry 4.0 и т.п. время передачи данных и доставки отклика становится все более критичным.

Наконец, новые скорости и новые объемы данных очевидно требуют самого дорогого, что есть у связистов – спектрального ресурса. Он ограничен по определению, равно как и теоретический предел бит/с/Гц.

Итак, сверхскорость (1–10 Гбит/с), сверхмалые задержки (менее 1 мс), сверхбольшое число активных физических соединений и их сверхвысокая плотность, энергетическая и спектральная сверхэффективность (по крайней мере в 10 раз выше сегодняшних) – вот, пожалуй, основные задачи, которые невозможно решить в рамках концепции сетей беспроводной связи 4G (LTE-A и WiMAX 2). Сеть 5G должна обеспечивать доступ к данным везде и всегда, всем людям и каждому устройству. Как можно решить все эти задачи?

Технологии 5G: противостояние или взаимодополнение?

По большому счету, методов, потенциально позволяющих решить описанные задачи, не так и много (и это не удивительно, иначе эти задачи давно бы решили). Поэтому в контексте 5G речь идет о нескольких прорывных технологиях, реализация которых еще несколько лет назад казалось фантастикой. На физическом уровне все сводится к следующим методам:

- работа в миллиметровом диапазоне длин волн (30–300 ГГц);
- использование пространственного разделения каналов и пространственной модуляции (что означает формирование узких диаграмм направленности в приемных и передающих устройствах, применение многоканальных систем MIMO);
- применение новых сигнально-кодовых конструкций, например, мультиплексирование с "неортогональным" частотным разделением каналов, что влечет усложнение алгоритмов обработки сигналов в устройствах;
- существенно более плотное расположение БС, то есть переход от макросот к малым сотам;
- применение действительно полнодуплексного режима (вместо временного и частотного дуплексирования, как в современных системах), то есть БС должна в одной частотной полосе принимать и передавать информацию от множества устройств. Это возможно, если использовать перспективные технологии подавления интерференции между приемными и передающими каналами.

Коренным образом меняются сами принципы построения сети, их архитектура:

- глобально, от сегодняшней сотово-центрической сети (основной элемент сети – базовая станция, где сосредоточены функции управления доступом) необходимо перейти к концепции "устройство-центрической" сети. Сами устройства становятся настолько интеллектуальными, что уже на них, а не на сеть, возлагается часть функций сетевого управления (вход в сеть, установление соединения, хендовер и т.п.);
- сама концепция соты претерпевает радикальное изменение. Это уже не нечто фиксированное – говорят о виртуальных сотах, о распределенных и гибких сотах, о динамически изменяющихся и даже мобильных сотах;
- меняется принцип организации каналов связи – если системы 2G и 3G допускали только канал БС – абонентское устройство, в системах 4G появилась возможность (но именно возможность) прямой связи между БС, то в контексте 5G говорят о непосредственной связи устройство-устройство, но в рамках глобально-связанной сети – и это принципиально. Речь идет о mesh-сетях, причем мобильных, динамически формирующихся и реконфигурируемых;
- основным становится принцип гетерогенных сетей. Причем неоднородность возможна по множеству параметров – и по используемым

технологиям, и по частотным диапазонам, и по разделению функций между макро- и микросотовыми БС (например, обмен данными идет через микро-БС, а управляющая информация – через макро-БС) и т.д.;
- изменяются принципы управления сетью. Часть функций децентрализуется, часть – переносится в облако (т.н. облачная сеть радиодоступа C-RAN, некий идейный аналог технологии SDN);
- при сверхплотном расположении БС (с шагом сетки в сотни метров) принципиально иную, ключевую роль начинают играть связывающие их опорные сети. Это могут быть также высокоскоростные сети миллиметрового диапазона, РРЛ с возможностями mesh-сетей и т.п. Более того, сама граница между опорными сетями и сетями радиодоступа может стираться.

Основа основ – миллиметровый диапазон

При всем разнообразии технологий и подходов к 5G одно базовое положение можно считать полностью определенным – это работа в миллиметровом диапазоне длин волн. Отметим лишь ряд моментов:
- мм-диапазон – это огромный незанятый частотный ресурс;
- он позволяет работать с полосами свыше 1 ГГц, что обеспечивает скорость передачи 1–10 Гбит/с и выше;
- системы связи мм-диапазона требуют направленных антенных систем. При этом достигается существенный энергетический выигрыш по сравнению с традиционными системами беспроводной связи;
- благодаря малой длине волны физические размеры антенных систем мм-диапазона при высоком усилении очень малы – шаг между элементами антенной решетки составляет половину длины волны. Активные решетки можно формировать на подложках микросхем, что существенно упрощает и удешевляет элементную базу и разработку систем связи в целом;
- за счет высокой направленности антенных систем мм-диапазона достигается высокая пространственная селективность – соседние устройства могут работать на одной частоте, не мешая друг другу;
- благодаря малым физическим размерам антенных решеток их можно встраивать в абонентские устройства;
- естественно высокое затухание ЭМИ в диапазоне 60 ГГц естественным образом решает проблему интерференции, что особенно важно для организации беспроводной опорной сети;
- наконец, компактные устройства с перестраиваемой диаграммой направленности обеспечивают необходимую для концепции 5G гибкость.

Все вышесказанное уже подтверждают ведущие производители, работающие в данной области.

Стандартизация: все еще впереди

Один из краеугольных камней в процессе внедрения любой глобальной технологии – стандартизация. Это сложный и длительный процесс, поскольку требует учета интересов всех будущих игроков 5G. Необходимо действительно выбрать оптимальное и найти должный компромисс. Но пока о стандартизации речи не идет – просто нечего стандартизировать. Развитием технологий 5G занимаются во всем мире. В Европе достаточно назвать два крупных проекта – METIS и 5GNOW. Известны и другие крупные международные проекты, в которых участвуют альянсы ведущих производителей телекоммуникационного оборудования, научные центры и регуляторные органы.

На предстоящей в 2015 году Всемирной конференции по радиосвязи (WRC-2015) Международного союза электросвязи (МСЭ) предполагается лишь заслушать доклад о технологических тенденциях в области будущих систем связи. На WRC-2015 должен быть сформулирован план, по которому будет строиться работа в области стандартизации будущей сети. Начнется работа по созданию концепции 5G (IMT for 2020 and beyong – концепция мобильных телекоммуникаций с 2020 года и далее) – аналог концепций IMT-2000 и IMT-Advanced). В ней должны быть сформулированы определения сетей 5G и требования к ним. На последующих конференциях WRC в 2018–19 годах предполагается рассмотреть вопрос об использовании спектра. А дальше специалисты МСЭ пока не заглядывают.

Поэтому говорить о появлении сетей 5G ранее 2020–2025 годов не приходится. И это хорошо – у российских производителей и исследователей есть время активно включиться в этот процесс. Иначе в очередной раз весь рынок поделят глобальные компании, а сотня с лишним миллионов российских пользователей продолжит финансировать телекоммуникационных производителей зарубежных стран.

И.Шахнович, шеф-редактор