

# Ключ к ранним исследованиям 5G:

измерительные приборы для новых сетевых технологий

Ян Уайтакр (Jan Whitacre)

В настоящее время наблюдается огромная востребованность технологий беспроводной передачи данных. Согласно прогнозам, к 2020 г. в эксплуатации будут находиться 20–50 млрд устройств — от класса M2M, передающих несколько байтов в день, до транслирующих потоковое видео высокой четкости. Исследования будущих потребностей ставят перед сетевыми операторами задачу создания инфраструктуры, в любой ситуации способной обеспечить достаточную пропускную способность, включая такие места, как стадионы и концертные залы, в которых собирается большое количество людей. На рис. 1 показано, как это может повлиять на развитие сети.

Сегодня важнейшими факторами, определяющими удовлетворенность пользователя, являются качество покрытия и количество доступных каналов.

Требования, предъявляемые к сетям следующего поколения, могут быть различными — в зависимости от рассматриваемых устройств и услуг. Например, требования пользователей, работающих с большими объемами данных, фокусируются на качестве соединения и задержках, тогда как энергоэффективность и (во многих случаях)

мобильность их интересуют в меньшей степени. В отличие от такого подхода «Интернет вещей» (IoT) фокусируется на надежности, стоимости и энергоэффективности, а системам обеспечения общественной безопасности нужна мгновенная доступность практически любой ценой. Учитывая, что некоторые из этих требований диаметрально противоположны, может показаться, что вряд ли удастся создать сеть «на все случаи жизни».

С точки зрения оператора связи, предоставление услуг должно осуществляться по такой цене, когда их ценность для потребителя превышает их стоимость. Другими словами, вложения в построение сети и ее эксплуатацию должны окупаться. С этой целью многие операторы уходят от исторически сложившихся услуг передачи голоса, текста и данных и переходят (путем естественного роста, приобретения или объединения) к модели «четверной игры», предлагающей фиксированную телефонию, мобильную передачу голоса и данных, быстрый домашний Интернет и потоковое видео, выступая для абонента в качестве поставщика интегрированных коммуникационных услуг.

Последние исследования определили основные свойства сети, необходимые для поддержки этой модели: интегрированная проводная/беспроводная сеть, в которой беспроводная часть состоит из плотной сети малых сот, пропускная способность которых повышается за счет применения пространственного мультиплексирования высокого порядка (MIMO). При этом скорость передачи данных в пределах соты достигает 10 Гбит/с, а кольцевая задержка не превышает 1 мс. Сейчас многие исследования предполагают наличие нескольких радиоинтерфейсов, которые будут включать существующие и перспективные стандарты сотовой связи, расширенную интеграцию Wi-Fi и будут работать в СВЧ- или миллиметровом диапазоне.

И хотя сеть должна поддерживать потомков современных смартфонов и планшетов с приложениями, требующими повышения объемов трафика, некоторые исследователи озабочены устройствами другого типа — датчиками и приводами с автономным питанием для IoT: простыми устройствами, которые передают очень мало данных и должны работать много лет без вмешательства человека. Проектирование такого рода устройств требует применения специальных приборов, измеряющих потребляемые токи в трех основных состояниях: «спящий режим», когда устройство



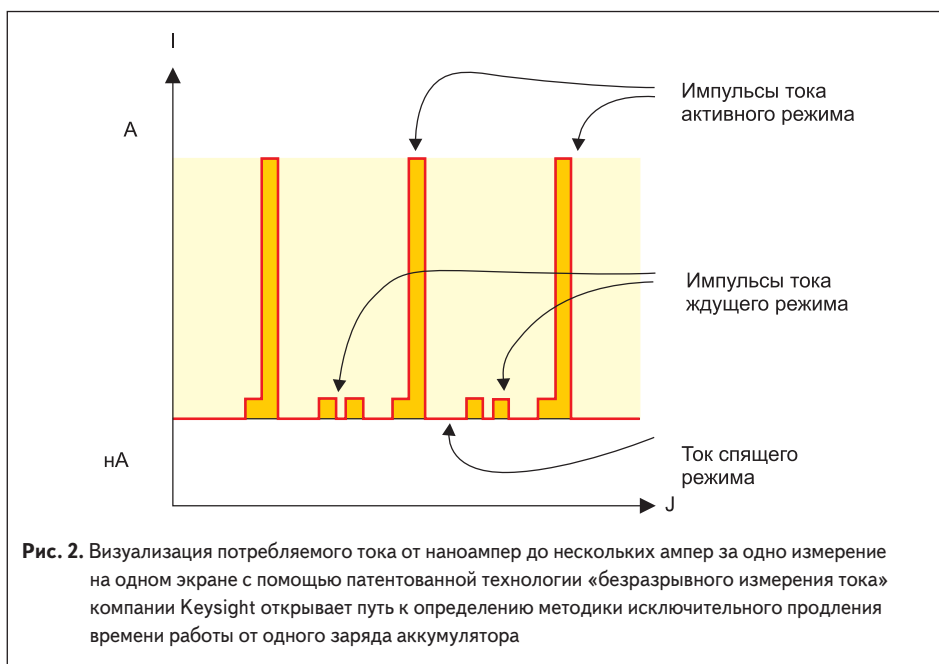
Рис. 1. Трактовка требований пользователей к будущим сетям

полностью неактивно, «режим ожидания», когда устройство работает, но не передает, и «режим передачи», когда устройство передает данные. Ток, потребляемый такими устройствами, носит неперiodический характер и может меняться от наноампер в спящем режиме до миллиампер в режиме ожидания и нескольких ампер в режиме передачи, причем в очень короткий период с очень крутыми фронтами (рис. 2).

В мобильных сетях прирост пропускной способности определяется в основном тремя факторами: расширением спектра, повышением эффективности использования спектра и многократным использованием частот за счет прогрессивного сокращения размера соты (рис. 3). Сегодня сети четвертого поколения используют больше частотных диапазонов, чем сети прежних поколений, и могут использовать более широкие каналы и агрегацию несущих — комбинацию двух и более каналов с несмежными частотами для дальнейшего повышения пропускной способности. Однако операторы мобильных сетей уверены, что существующего спектра недостаточно для обеспечения прогнозируемой пропускной способности.

Следовательно, параллельно с развитием сотовых сетей должны появиться и новые версии стандарта беспроводной сети IEEE 802.11, обеспечивающие большую пропускную способность для связи на малое расстояние. Стандарт 802.11ac является расширением стандарта 802.11n и предлагает скорость передачи 500 Мбит/с в одном канале при общей пропускной способности 1 Гбит/с в диапазоне 5 ГГц. Стандарт 802.11ad обеспечивает пропускную способность на малых расстояниях до 7 Гбит/с в полосе 2 ГГц на частоте 60 ГГц. При этом все варианты стандарта 802.11 должны обладать обратной совместимостью, а стандарты 802.11ac и ad должны быть совместимы на уровне управления доступом к среде (MAC) и канальном уровне и могут отличаться лишь характеристиками физического уровня. Устройства могут иметь три радиосистемы: 2,4 ГГц для общего применения (с учетом подверженности этого диапазона помехам), 5 ГГц для приложений, требующих повышенной скорости и надежности, и 60 ГГц для сверхвысокоскоростной связи в пределах помещения. При этом необходимо поддерживать переключение сеансов между этими радиосистемами. Стандарт 802.11ac поддерживает полосу канала до 160 МГц, более эффективную модуляцию 256QAM и схему передачи до 8×8 MIMO для максимального повышения пропускной способности. Также стандарты 802.11ac и 802.11ad поддерживают формирование диаграммы направленности, что позволяет сфокусировать системные ресурсы на отдельных устройствах, повышая надежность передачи. Операторы сетей мобильной связи по всему миру сотрудничают с поставщиками услуг Wi-Fi-доступа, предлагая загрузку данных и звонки через Wi-Fi. Первая услуга призвана расширить пропускную способность сети, а вторая направлена на расширение зоны покрытия голосовой связи в «мертвых зонах», где отсутствуют услуги сотовой связи.

Одна из наиболее важных сотовых технологий следующего поколения заключается в совместной работе современных сетей мобильной связи с плотной сетью малых сот в новом участке

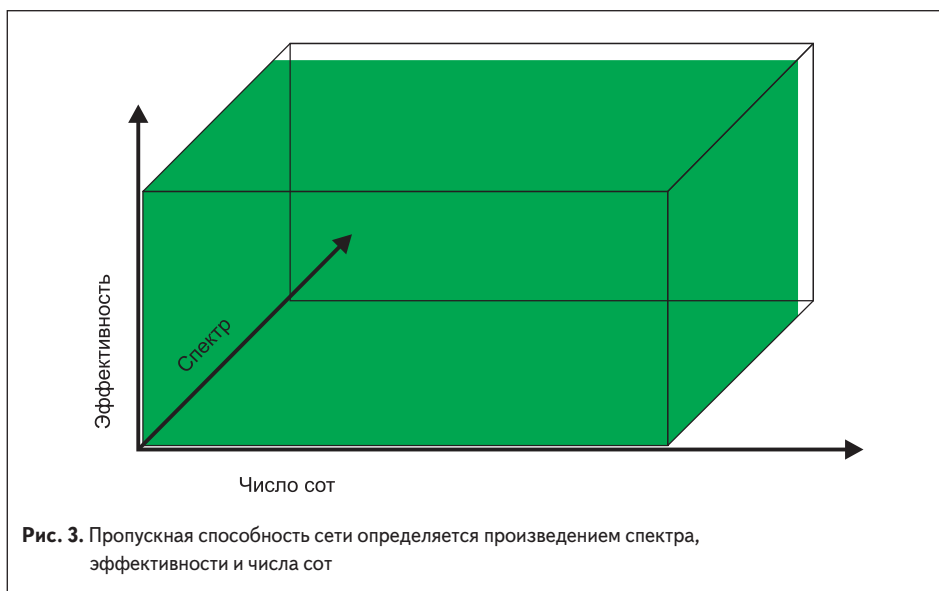


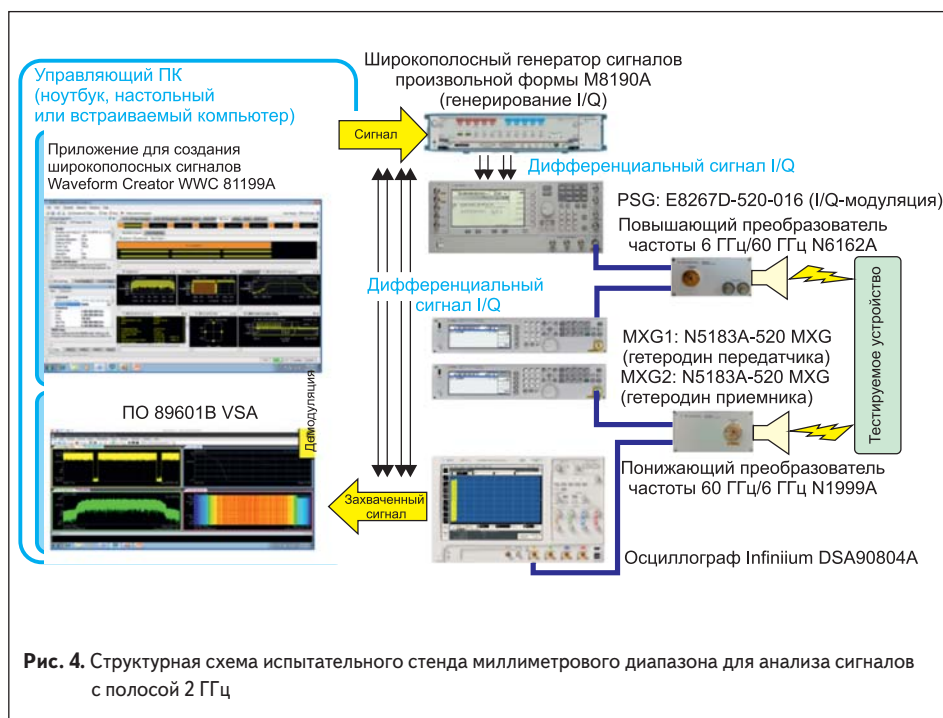
спектра — миллиметровом диапазоне, где возможно применение модуляции с полосой в несколько гигагерц. Поведение такой комбинированной сети будет отличаться от поведения современных сотовых и Wi-Fi-сетей, работающих в «традиционном» диапазоне 1–6 ГГц и использующих полосу 10–20 МГц. Множество институтов и исследовательских отделов крупных производителей сетевого оборудования заняты разработкой возможных сетевых технологий и соответствующих методов передачи сигналов в диапазоне частот 28–60 ГГц (нижняя граница диапазона E). Помимо этого, они исследуют применение нескольких пространственных потоков (MIMO) и формирование диаграммы направленности, что требует применения приемных и передающих фазированных антенных решеток. Кроме того, множество государственных организаций всего мира финансируют исследования с целью глобального подхода к инфраструктуре сетей следующего поколения. Результаты этих исследований будут использованы в процессе

создания стандартов для так называемых сетей пятого поколения (5G), внедрение которых запланировано на 2015–2016 гг.

Эти исследования открывают новые перспективы для систем связи и требуют применения новых контрольно-измерительных решений. Например, антенная решетка, работающая на частоте выше 60 ГГц, имеет малые размеры и может крепиться прямо на выходном усилителе передатчика или на входе приемника, что позволяет обойтись без длинных проводных соединений. Новой проблемой для поставщиков контрольно-измерительного оборудования является создание надежных способов калибровки элементов подключения контрольно-измерительной системы к компоненту для определения его истинных характеристик. Для этого нужны анализаторы цепей, работающие в миллиметровом диапазоне, и инновационные решения, позволяющие использовать стандартные калибровочные эталоны.

Исследование реального поведения широкополосных сигналов на этих частотах требует





применения новых приборов для генерации и анализа таких сигналов. В этих исследованиях неоценим опыт, полученный в процессе разработки компонентов для беспроводных сетей 802.11ad. На рис. 4 приведен пример испытательного стенда для анализа сигналов 60 ГГц с полосой 2 ГГц.

Перед утверждением нового стандарта радиointерфейса можно провести ряд предварительных исследований характеристик передачи с применением разных типов и порядков модуляции с помощью ПО для создания широкополосных сигналов произвольной формы и генератора миллиметрового диапазона в качестве повышающего преобразователя частоты. ПО для создания сигналов должно иметь четкий и понятный интерфейс пользователя, позволяющий быстро и легко создавать обширный диапазон сложных испытательных сигналов и загружать их в совместимый генератор. Для создания нужных сигналов можно использовать такое ПО, как Keysight Signal Studio, и широкополосный генератор сигналов произвольной формы. Затем результирующий сигнал можно преобразовать в сигнал нужной частоты миллиметрового диапазона. На более поздних этапах разработки возникнет потребность в создании и передаче полностью кодированных сигналов, которые можно демодулировать прототипом приемника. И снова, для тестирования

по сценариям с несколькими потоками, понадобится несколько сигналов. Сквозное тестирование с применением средств системного моделирования, таких как Keysight SystemVue, позволяет создавать систему с несколькими трактами передачи, а потом заменять элементы структурной схемы реальными компонентами и соответствующими реальными измерениями по мере доступности этих компонентов. Для полного определения характеристик в сложной спектральной обстановке понадобится несколько источников сигналов, имитирующих перекрытие сетей и помехи от других пользователей спектра.

Моделирование, генерация и анализ СВЧ-сигналов знакомы компании Keysight очень хорошо: уже многие годы компания выпускает контрольно-измерительное оборудование для работы с компонентами миллиметрового диапазона, которые используются в РЛС и системах связи, работающих в диапазоне до 100 ГГц. У Keysight всегда в наличии мощные средства моделирования и тестирования передовых продуктов, так как представители компании работают в соответствующих комитетах стандартизации и промышленных форумах, где занимаются разработкой метрологических принципов и методов тестирования, позволяющих глубоко анализировать характеристики устройств и систем. ■