

# МЫ УЖЕ СЕГОДНЯ МОЖЕМ ПРЕДЛОЖИТЬ КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СЕТЕЙ БУДУЩЕГО – 5G

Рассказывает руководитель направления 5G  
компании Keysight Technologies Роджер Николс (Roger Nichols)



Одной из горячо обсуждаемых тем состоявшегося в начале марта Всемирного мобильного конгресса MWC 2015 было пятое поколение сетей беспроводной связи – 5G. Хотя наметились лишь общие направления исследований в сфере 5G, еще даже не начался процесс стандартизации, понятно одно – никакие разработки прорывной технологии не будут возможны без опережающего развития измерительных решений. О том, как готовится к очередной революции в мобильной связи один из ведущих игроков на рынке контрольно-измерительного оборудования – компания Keysight Technologies – мы побеседовали на конгрессе с руководителем направления 5G Роджером Николсом.

Господин Николс, Keysight Technologies как лидер в области создания контрольно-измерительного оборудования должна идти на шаг впереди разработчиков телекоммуникационного оборудования, предоставляя им самую возможность проводить исследования. Поэтому вполне закономерно спросить именно у вас – какие технологии скрываются за аббревиатурой 5G?

Действительно, сегодня нет единого понимания, что такое 5G. В основном специалисты во всем мире скажут: "Мы пока еще не знаем, что такое 5G". Но есть и другие мнения, причем уже достаточно консолидированные. Возможно, лучше всего их выражает консорциум METIS, созданный Евросоюзом. Если кратко, общее мнение таково: 5G – это "выдающиеся услуги – в массы", то есть речь идет о коммуникациях между самыми разными объектами и субъектами, в любом месте и в любое время, причем именно с высочайшим качеством услуг. Это означает и очень высокую скорость передачи данных (до 10 Гбит/с), и большую надежность соединения, и сверхмалые задержки (не более 1 мс), и многое другое. Для всего этого нужен набор технологий, которые пока являются объектами исследований.

Прежде всего, необходимы новые подходы к технологиям передачи данных. Здесь можно выделить два больших поля для исследований. С одной стороны необходимо повысить спектральную эффективность систем передачи в диапазоне ниже 6 ГГц, поскольку этот спектр сегодня используется чрезвычайно интенсивно. Все современные системы связи, включая 4G, работают в этом диапазоне. Но он еще не до конца исчерпал свои возможности. Причем, помимо спектральной эффективности, важна и энергоэффективность. Приведу лишь один пример\*. Крупнейший в мире оператор сотовой связи China Mobile в 2012 году израсходовал 14 млрд. кВт·ч электроэнергии в своей сети

из 1,1 млн. базовых станций. А сегодня в сетях China Mobile добавилось еще 800 тыс. базовых станций, то есть энергопотребление выросло более чем на 70%. И значительную долю этой энергии расходуют усилители мощности.

Не менее важная область исследований – миллиметровый диапазон длин волн. Он предоставляет возможности для удивительно быстрой передачи информации, на уровне гигабит в секунду. Как следует из закона Шеннона, для таких скоростей нужна широкая полоса. Сегодня спектральные ресурсы в сантиметровых диапазонах заняты, тогда как в миллиметровом диапазоне как раз есть свободные широкие полосы. Однако до сих пор никто не занимался мобильным многопользовательским доступом на этих частотах. Может быть, подобные исследования проводили немногочисленные военные структуры в рамках специальных задач – но не в массовой мобильной связи.

Особого внимания требует архитектура самих сетей радиодоступа. Мы уже сегодня говорим о гетерогенных беспроводных сетях (HetNet), но завтра они станут еще сложнее. Например, данные в восходящих и нисходящих каналах (от абонента к базовой станции и наоборот) могут передаваться на основе различных технологий, даже в разных диапазонах частот. Добавьте сюда развитие прямой коммуникации между абонентскими устройствами, без привлечения ресурсов сети. Все это означает необходимость разработки нового принципа построения и функционирования беспроводных сетей доступа, который будет кардинально отличаться от сегодняшнего.

Еще один аспект – централизация сетевых ресурсов. В частности, это означает, что стек протоколов сети радиодоступа может поддерживаться не в базовой станции (как сейчас), а в некоем центре управления, даже в облаке (именно такова концепция сетей C-RAN, которая уже сегодня реализуется для систем 4G). При этом базовые станции лишатся основных функций обработки сигналов и превратятся в систему относительно простых приемопередатчиков, которые обмениваются

\* Chih-Lin I, Corbett Rowell, Shuangfeng Han, Zhikun Xu, Gang Li, Zhengang Pan. Toward Green and Soft: A 5G Perspective // IEEE Communications Magazine. 2014. February. P. 66–72.

с центром обработки непосредственно квадратурными составляющими сигналов (т.е. данными для модулятора, что исключает цифровую обработку в самой базовой станции). Конечно, такой подход потребует перестройки архитектуры опорных сетей.

Наконец, обращу особое внимание на высокоскоростные цифровые технологии. Если я хочу, чтобы мой карманный смартфон поддерживал обмен со скоростью 5 Гбит/с, то ему необходимы соответствующие вычислительные ресурсы – иначе как он обработает такой поток данных? Это значит, что цифровые интегральные схемы должны стать много быстрее современных. Аналогично, волоконно-оптические линии связи в опорных сетях, например связывающие базовые станции с центрами коммутации, должны работать с гораздо большей скоростью, чем сейчас. Большой трафик, меньшие задержки и централизация сетей радиодоступа – все это вызов для разработчиков технологий оптической передачи, в том числе на уровне систем цифровой обработки.

### Какова роль Keysight в развитии технологий, которые лягут в основу систем 5G?

Как мы отметили, ключевые технологии, которые будут определять облик систем 5G – это микроэлектронные технологии цифровых интегральных схем, технологии обеспечения энергетической и спектральной эффективности, технологии передачи в миллиметровом диапазоне, волоконно-оптические технологии. И я горжусь, что во всех этих областях у Keysight есть фундаментальные решения для измерений – как аппаратные, так и программные. Но едва ли не самое важное – в компании работают специалисты, имеющие большой опыт в каждом из этих направлений.

Например, измерениями в миллиметровом диапазоне наша компания – тогда еще Hewlett-Packard – начала заниматься еще в 1980-е годы. До сих пор миллиметровый диапазон использовался для систем связи точка-точка или для специфических задач в аэрокосмической сфере, и мы активно работали в этих областях.



Генератор сигналов произвольной формы M8190A

Аналогично, наша компания с самого начала была вовлечена в коммерческую беспроводную связь. В результате мы накопили достаточный опыт, который теперь можем использовать в новой области – 5G. Конечно, это наше огромное преимущество.

Мы – часть современной индустрии. И нам нужно определить, что в сфере 5G необходимо отрасли телекоммуникаций сегодня – для проведения исследований, через два-три года – для промышленных разработок, когда начнется процесс стандартизации и все перейдут к созданию реального оборудования. Это значит, что сейчас мы начинаем с построения измерительных систем на основе приборов общего назначения. И далее идем путем их последовательной оптимизации, чтобы создать именно те законченные решения, которые идеально будут соответствовать потребностям промышленности. Такая потребность, вероятно, возникнет года через три – к тому моменту, когда на 5G начнется выделение существенных финансовых средств.

Благодаря своему опыту и возможностям мы очень активно вовлечены в исследования в области 5G. Keysight участвует в работе ряда международных консорциумов, в частности, в проектах крупнейшей рамочной программы исследований и инноваций Horizon 2020 Евросоюза. Мы являемся членами таких организаций, как 5G Forum (Ю.Корея) и Future Forum (КНР). Тесно сотрудничаем с университетами. В частности, участвуем в программе WIRELESS Industrial Affiliate Нью-Йоркского университета (NYU), направленной на исследования в мм-диапазоне. Ведем работу с исследовательским центром Квангвунского университета

в Сеуле (Kwangwoon University Radio Research Center). Развивается сотрудничество с Национальным университетом Тайваня.

Мы активно работаем и с крупными коммерческими компаниями – именно крупными, поскольку исследования в области 5G сегодня означают высокие риски, которые могут себе позволить не все. Конечно, я просто физически не смогу рассказать о всех проектах, поэтому остановлюсь лишь на одном из них, результаты которого были представлены на выставке MWC 2015. Речь идет о совместном проекте с Исследовательским институтом компании China Mobile Communications (CMRI).

Мы уже два года ведем совместные исследования с CMRI в области MIMO-систем. Создается реконфигурируемая адаптивная антенная система с перестраиваемой диаграммой направленности, работающая в диапазоне частот ниже 6 ГГц. Формирование направленного луча – это один из путей повышения спектральной эффективности за счет пространственного мультиплексирования, что важно для систем 5G. В основе этой масштабируемой антенной решетки – созданный CMRI активный трансивер SmartTile ("интеллектуальная плитка"). На выставке представлен демонстрационный образец MIMO-системы с 15 элементами. Но это лишь прототип будущей системы с гораздо большим числом элементов. Сейчас каждый узел SmartTile поддерживает два канала, но в перспективе планируется увеличить их до восьми.

Очень важно, что MIMO-система на основе SmartTile – это элемент

централизованной сети радиодоступа C-RAN. Концепцию C-RAN (еще ее называют облачной сетью радиодоступа) также предложил CMRI в 2010 году, сейчас она поддержана ведущими операторами и производителями. Мы начинали сотрудничать с CMRI в области C-RAN, а теперь совместно работаем и в направлении MIMO. В данном исследовании зона ответственности Keysight – вопросы измерений, калибровки и аттестации MIMO-систем.

### Какие еще решения в области 5G вы представляете на MWC 2015?

В этом направлении мы демонстрируем два системных решения. Одно из них – это комплекс для измерений параметров каналов миллиметрового диапазона, в том числе для MIMO-систем. Задача измерений свойств и характеристик радиоканала в миллиметровом диапазоне крайне важна именно сегодня. Ведь на основе таких измерений строится математическая модель канала передачи, которая затем ляжет в основу последующих разработок оборудования и систем.

Комплекс построен на приборах Keysight общего назначения, однако они обладают уникальными характеристиками. Так, для формирования сигналов с различными схемами модуляции используется генератор сигналов произвольной формы M8190A. Он обеспечивает генерацию сигналов с частотой дискретизации до 8 Гвыб./с (гигавыборки в секунду) с разрешением ЦАП до 14 бит (или 12 Гвыб./с с разрешением 12 бит) с аналоговой полосой до 5 ГГц и динамическим диапазоном до 90 дБ. Сгенерированные сигналы модулируют несущую в миллиметровом диапазоне. Для этого применяется векторный генератор E8267D PSG с частотой до 44 ГГц (с помощью внешних смесителей возможны частоты от 75 до 1,1 ТГц) и полосой квадратурных составляющих до 2 ГГц. Сгенерированные сигналы можно направлять на многоканальную MIMO-антенну.

На приемной стороне, после антенны, мы используем понижающий преобразователь M9362AD01 с частотным диапазоном до 50 ГГц. Он поддерживает четыре

Векторный генератор E8267D PSG



когерентных канала с полосой до 1,5 ГГц. Для захвата сигнала применяется высокоскоростной дигитайзер M97031A. Этот 12-разрядный цифровой приемник с восемью каналами с полосой по 2 ГГц обеспечивает частоту дискретизации в каждом канале до 1,6 Гвыб./с.

Но все это – только аппаратная часть. Кроме того, комплекс измерений миллиметровых каналов использует наше новое ПО – библиотеку 5G Baseband Exploration Library. Это новейший инструмент для разработки и моделирования решений в области 5G. Библиотека содержит большое разнообразие моделей сигнальных конструкций, включая ортогональные и неортогональные многочастотные сигнальные схемы, а также модели обработки сигналов для формирования заданных диаграмм направленности антенных систем и MIMO-сигналов. Также в библиотеку входят базовые модели приемников и передатчиков.

Принципиально, что наш комплекс, за счет программных и аппаратных решений, позволяет проводить измерения в реальном времени, получать мгновенные значения сигнала, даже величины доплеровских сдвигов частот. Причем мы можем генерировать разнообразные широкополосные сигналы, псевдослучайные импульсные последовательности и т.д. Зная параметры переданного и принятого сигналов, можно очень точно рассчитать импульсный отклик канала – основу для математической модели, на базе которой можно проектировать телекоммуникационные системы и оборудование.

Все это позволяет проводить реальные измерения в радиоканале, используя различные сигнально-кодовые конструкции, исследуя разнообразные схемы модуляции. А затем полученные характеристики каналов можно экстрактировать в САПР SystemVue и использовать для моделирования системы передачи в целом. Этот пакет разработок системного уровня и моделирования теперь входит в библиотеку 5G Baseband Exploration Library.

Второе решение в области 5G, которое мы представили на MWC 2015, – это гибкая тестовая система. Она предназначена для исследований не только в миллиметровом



Высоко-  
скоростной  
дигитайзер  
M97031A

диапазоне, но и в полосах ниже 6 ГГц. Система также построена на стандартном оборудовании. В частности, для исследований в сантиметровом диапазоне мы представили два новых прибора в форм-факторе PXIe: векторный анализатор сигналов M9391A и векторный генератор M9381A, – работающих на частотах до 6 ГГц. В комплекс входит также генератор сигналов произвольной формы, осциллограф и повышающий преобразователь для работы в миллиметровом диапазоне. И конечно, неотъемлемый элемент комплекса – программное обеспечение. Помимо уже описанных возможностей, библиотека 5G Baseband Exploration Library включает новый пакет для нашей известной системы создания сигналов Signal Studio. Новая программа N7608B Signal Studio for Custom Modulation – это удобный инструмент для формирования различных сигнально-кодовых конструкций, прежде всего, для диапазонов ниже 6 ГГц, поскольку именно там особенно актуальна спектральная эффективность. Например, в библиотеку входят модели таких схем модуляции, как многочастотная модуляция с банком фильтров (Filter Bank Multicarrier, FBMC), где пользователи могут создавать собственные наборы фильтров. Эта схема модуляции – один из возможных кандидатов в клуб 5G, но далеко не единственный. Для их сравнительного анализа и предназначена наша система.

**Построение каналов связи в миллиметровом диапазоне с точки зрения аппаратуры во многом подобно каналам связи волоконно-оптических линий – у них уже сопоставимы скорости передачи и ширина полос модуляции. Насколько возможно использовать подходы, уже наработанные в волоконно-оптической**



Векторный анализатор сигналов M9391A PXIe (слева) и векторный генератор сигналов (VSG) M9381A PXIe (справа)

### связи, для систем миллиметрового диапазона?

Действительно, в волоконной оптике важно генерировать очень широкополосный сигнал, который затем используется для модуляции оптической несущей. Для этого применяются наши генераторы сигналов произвольной формы. Посмотрите на их характеристики – 8 Гвыб./с с разрешением 14 бит – это очень быстро, фактически мы говорим про прямой цифровой синтез, что на таких скоростях еще несколько лет назад казалось фантастикой. На приемной стороне мы используем аналогичные высокоскоростные системы, в частности, цифровой приемник

с восемью каналами по 1,6 Гвыб./с при разрешении 12 бит. Не забудьте про осциллографы серии Z (DSOZ634A) с аналоговой полосой 63 ГГц для двух каналов (или 33 ГГц при четырех когерентных каналах). Изначально подобные инструменты создавались именно для волоконно-оптических систем связи. В них используются уникальные технологии на основе наших собственных интегральных СВЧ-схем, в том числе на основе InP-технологий.

И весь этот потенциал мы можем использовать для измерений в радиоканале. Собственно, многие подходы для измерительных комплексов для 5G, которые мы сегодня демонстрируем, с успехом применяются нашим отделом цифровых фотонных измерений. В этом и состоит одно из преимуществ Keysight, о котором я уже говорил, – мы обладаем огромным опытом и багажом знаний в различных областях. Поэтому хоть направление 5G для нас, как и для всех участников рынка, совсем новое, мы уже сегодня можем предложить достойные решения для исследований в данной сфере.

**Спасибо за интересный рассказ.**

*С.Р.Николсом беседовали С.Попов и И.Шахнович*

## 200 млн. долл. на развитие опережающей технологии фотоники

В октябре 2014 года президент США Барак Обама объявил конкурс на участие в программе создания Института промышленных инноваций интегрированной фотоники (Integrated Photonics Institute for Manufacturing Innovation, IP-IMI). Чтобы начать программу, правительство США планировало выделить из бюджета 2015 года 100 млн. долл., еще 100 млн. поступят от участников проекта. Программа предусматривает создание целостной экосистемы, включающей отечественное производство, интегрированные технические средства проектирования, автоматизированное корпусирование, сборку и тестирование изделий, объединяющих фотозлектронные и электронные компоненты. Цель программы – вернуть в США рабочие места, которые ранее были переданы в страны с дешевой рабочей силой, а также поддержать не только

технологическое опережение страны, но и усилить национальную безопасность, перенеся производство на американскую почву. В рамках программы должны быть освоены процесс массового производства дешевых устройств, объединяющих электронные и фотонные интегральные схемы.

В январе 2015 года Национальная инициатива фотоники (National Photonics Initiative, NPI) – объединение, стремящееся расширить применение фотозлектронных устройств и увеличить финансирование и инвестирование работ в этой области, сообщила о выборе Министерством обороны США трех университетов для представления предложений по программе. Это – Университет центральной Флориды, Университет южной Калифорнии и Исследовательский фонд Университета штата Нью-Йорк.

[www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1324203](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1324203)