

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ 5G: ОТ КОНЦЕПЦИИ К РЕАЛЬНОСТИ

Рассказывает директор по маркетингу систем связи и программно-определяемых радиосистем компании National Instruments Джеймс Кимери



Беспрецедентный рост количества используемых в мире мобильных устройств вызывает необходимость ускоренного перехода на новые стандарты беспроводной связи, которые обеспечат радикальное повышение скорости (до 10–20 Гбит/с) и надежности передачи данных. Однако фундаментальная задача построения мобильных сетей поколения 5G связана с решением целого комплекса сложных проблем – как технических, так и организационных. Кроме того, стандарты на 5G пока в стадии разработки. Одна из ключевых проблем, с которыми сталкиваются специалисты, – создание и тестирование рабочих прототипов, на базе которых можно исследовать концепции построения систем 5G. О перспективных технологиях 5G и эффективных подходах к разработке таких систем, о том, как сделать 5G реальностью, рассказывает директор по маркетингу систем связи и программно-определяемых радиосистем компании National Instruments Джеймс Кимери (James Kimery).

Господин Кимери, какие ключевые технологии, по мнению специалистов, перспективные для построения сетей 5G, вы могли бы выделить?

Несмотря на широкое внедрение сетей LTE и LTE-A, очевидно, что сегодняшние технологии беспроводной связи не в состоянии обеспечить растущие требования к скорости передачи данных и пропускной способности сети. Отвечая на вызовы времени, специалисты в области систем связи исследуют беспроводные технологии, которые, как предполагается, станут частью сетей 5G. Разработки ориентированы не только на увеличение пропускной способности, но и на улучшение покрытия и надежности сервиса, повышение энергоэффективности и уменьшение задержек. Можно выделить несколько основных направлений, на которых сфокусированы исследователи.

Первое – технология Massive MIMO, обещающая значительное повышение скорости и надежности каналов передачи данных за счет использования большого (от 100) количества антенн на базовых станциях. Этот подход радикально отличается от традиционной архитектуры построения сотовой связи, где на базовой станции не более шести-восьми антенн. Сотни антенных элементов позволяют снизить канальную мощность за счет фокусировки энергии на абоненте с помощью технологии предварительного кодирования. За счет энергии, направленной на конкретного пользователя, не только снижается потребляемая мощность, но и уменьшаются взаимные помехи от абонентов сети.

Второе направление – уплотнение беспроводных сетей благодаря увеличению числа базовых станций в географическом районе. Такой подход позволяет существенно повысить спектральную эффективность и снизить энергопотребление мобильных устройств за счет сокращения коммуникационных расстояний. Уплотнение сетей предусматривает разработку малых базовых станций – так называемых пикосот (pico cell) и фемтосот (femto cell), образующих гетерогенные сети. Эта, на первый взгляд, простая концепция требует решения ряда сложных проблем. В частности, при развертывании множественных точек доступа операторы должны обеспечить отсутствие конфликтов между устройствами в сети, учитывать местоположение и мощность устройств, обеспечить их координа-

цию с другими точками доступа в данном районе. Кроме того, необходимо позаботиться о миниатюризации и повышении энергоэффективности малых базовых станций.

Третье направление исследований – поиск новых сигнально-кодовых конструкций для 5G. Дело в том, что недостаток используемой в сетях 4G и 4G+ технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (orthogonal frequency division

5G – это целый набор технологий, требующих специальных исследований, поэтому задача создания реальной 5G-системы чрезвычайно сложна

multiplexing – OFDM) обусловлен расширением спектра внеполосного излучения, что ограничивает спектральную эффективность. Другими словами, сетевые операторы не могут эффективно использовать доступный спектр из-за создаваемых пользователями на соседних каналах помех. Для OFDM также характерно высокое отношение пикового значения мощности к среднему усилителя мощности, что сокращает срок службы батарей мобильного устройства. Чтобы преодолеть эти недостатки OFDM, специалисты исследуют альтернативные типы сигнально-кодовых конструкций, в том числе мультиплексированный сигнал на основе обобщенного частотного разделения (generalized frequency division multiplexing – GFDM), сигнал с множеством несущих, использующий банк частотных фильтров (filter bank multi-carrier – FBMC), и универсальный фильтруемый сигнал с множеством несущих (universal filtered multi-carrier – UFMC). Предполагается, что в результате использования одного из этих подходов удастся повысить пропускную способность сети на 30% и в то же время увеличить срок службы батарей мобильных устройств.

Решающее значение для перехода на новые беспроводные технологии имеет доступность частотного спектра. Известно, что пропускная способность канала зависит от полосы частот и соотношения сигнал/шум. Поскольку современные методы обработки сигнала приближаются к пределу в том, что касается указанного соотношения, для существенного повышения пропускной способности сети

необходима более широкая полоса частот. До недавнего времени специалисты рассматривали возможность использования только частотного диапазона ниже 6 ГГц. Однако исследования показали, что можно также обеспечить коммерческую радиосвязь в миллиметровом диапазоне – в частности, на частотах 28, 38, 60 и 72 ГГц. Хотя передача на этих частотах связана с большими потерями в полосе пропускания, имеется возможность их компенсации за счет высокого коэффициента усиления, применения фазированных антенных решеток на базовых станциях и усовершенствованных методов цифровой обработки сигнала. Из-за доступности частотного спектра в миллиметровом диапазоне перспективы этой технологии весьма хорошие. На некоторых частотах операторы связи могут обеспе-

Наш подход – создание аппаратно-программной платформы, которая позволяет эмулировать 5G-систему, начиная с разработки алгоритмов и заканчивая созданием прототипа

чить непрерывный спектр до 2 ГГц, в то время как сегодня доступный спектр составляет 20 МГц.

Как видите, 5G – это целый набор технологий, требующих специальных исследований, поэтому задача создания реальной 5G-системы чрезвычайно сложна.

Какие определены сценарии и варианты использования систем 5G?

В 2015 году Международный союз электросвязи (International Telecommunication Union – ITU) определил три сценария использования сетей 5G: усовершенствованная широкополосная мобильная связь (enhanced mobile broadband), массовые машинные коммуникации (massive machine type communications) и ультранадежные коммуникации с малой задержкой (ultra-reliable-low latency communications).

Первый сценарий – усовершенствованная широкополосная мобильная связь – предполагает высокоскоростной доступ абонентов сети к контенту мультимедиа, сервисам и данным. Он включает в себя новые приложения, которые характеризуются высокой

производительностью и комплексным взаимодействием с пользователем. Этот сценарий использования 5G, в свою очередь, предусматривает такие варианты, как сетевое покрытие больших областей и так называемые hotspots – области с высокой плотностью пользователей. Для этих участков необходима очень высокая пропускная способность, а требования к мобильности сравнительно низкие. При этом скорость передачи данных пользователей выше, чем для варианта сетевого покрытия больших областей. Для последнего случая актуальны "бесшовное" покрытие и средняя мобильность с намного более высокой скоростью передачи данных по сравнению с существующей. Однако требования к скорости ниже по сравнению с hotspots.

Сценарий массовых машинных коммуникаций характеризуется очень большим количеством связанных между собой устройств, которые передают, как правило, сравнительно малые объемы данных, не чувствительные к задержкам. Основные требования к этим устройствам – невысокая стоимость и продолжительный срок службы батарей. Среди наиболее важных параметров сети можно отметить высокую плотность соединений (до 10^6 на км²), очень экономный энергетический бюджет канала связи, а также большой срок службы батарей терминальных устройств (до пяти-десяти лет).

Сценарий ультранадежных коммуникаций с малой задержкой отличается такими жесткими требованиями, как высокая пропускная способность, низкая задержка (порядка 1 мс) и высокая доступность спектра. Надежность соединений в этом случае должна быть на уровне операторского класса, то есть примерно 99,999%, что обеспечит управление оборудованием в режиме реального времени. В качестве примеров приложений можно назвать беспроводной контроль промышленных и технологических процессов, удаленные медицинские операции, системы распределенной автоматизации в интеллектуальных сетях, безопасность на транспорте, автомобили без водителя и т.д.

С какими наиболее сложными проблемами сталкиваются разработчики при проектировании систем 5G?

Прежде всего следует сказать, что процесс проектирования беспроводной системы

от концепции до прототипа – весьма сложный, многие исследователи просто останавливаются на этапе программного моделирования. Поэтому ключевая задача для разработчиков – выйти за пределы моделирования и перейти к разработке и исследованию реального прототипа. Для того чтобы 5G стала реальностью, необходимо исследовать и протестировать каждую новую технологию, а затем рассмотреть возможность ее стандартизации.

Важный этап – предоставление в соответствующие организации по стандартизации данных, полученных на базе реальных прототипов. Компании, способные создать систему 5G раньше других, получают существенное преимущество с точки зрения темпов ее вывода на рынок. Поэтому занятым в области 5G компаниям необходимо как можно раньше создать рабочий прототип, обеспечив свои коммерческие интересы.

Наряду с отраслевыми компаниями важность создания и исследований рабочих прототипов беспроводных систем осознали академические и государственные лаборатории. Впечатляющие инновации были внедрены благодаря совместной работе государственных и частных структур. Особенно важно широкое сотрудничество в этой области, поскольку, как уже отмечалось, развитие 5G связано с необходимостью решения нескольких сложных проблем.

Помимо проблем, характерных для процесса проектирования, у разработчиков возникают трудности, связанные с проверкой жестких временных параметров перспективных систем 5G. Дело в том, что, как уже говорилось, один из ключевых заявленных параметров будущих систем 5G – задержки передачи менее 1 мс, что в 50 раз меньше, чем в 4G. Поэтому для исследования таких технологий, как Massive MIMO, необходимы продвинутое системные решения, которые обеспечивают жесткую временную синхронизацию всех системных компонентов.

Следует сказать также, что важная задача для отраслевых компаний, правительства и регулирующих организаций – перераспределение частотного спектра ниже 6 ГГц. В противном случае в этом диапазоне частот не останется доступного спектра. Непростая задача, поскольку операторы связи инвестировали значительные средства в использо-

ванные частотные диапазоны. Компания NI вместе со своими партнерами предлагает оборудование и методики, помогающие найти способ решения этой серьезной проблемы.

National Instruments – один из признанных лидеров в области создания систем для разработки, исследования и тестирования коммуникационного оборудования. Каков ваш подход к разработке систем 5G? Какие решения компания предлагает для создания рабочих прототипов таких систем?

Наш подход – создание аппаратно-программной платформы, которая позволяет быстро и эффективно эмулировать 5G-систему, начиная с разработки алгоритмов и программной модели и заканчивая созданием прототипа. Такой путь облегчает переход от программной эмуляции к рабочему прототипу благодаря интеграции программных и аппаратных компонентов в единой системе.

Одно из предлагаемых нами решений – испытательный стенд для проведения экспериментов, прототипирования и тестирования беспроводных технологий LTE Unlicensed (LTE-U) и License Assisted Access (LAA). Технологии LTE-U и LAA, которые расширяют возможности 4G и обеспечивают необходимое качество связи, рассматриваются как промежуточные решения до перехода на 5G. Поскольку и LTE-U и LAA работают в нелицензируемом диапазоне ISM 5 ГГц, они должны "делиться"

Испытательный стенд на основе программно-определяемой радиосистемы USRP RIO для прототипирования LTE-U/LAA-систем



Испытательный
стенд для
прототипиро-
вания системы
Massive MIMO
16 × 16 на основе
платформы NI



этот участок спектра с сетями Wi-Fi 802.11a и 802.11ac. Проблема состоит в том, что LTE-U не регламентируется консорциумом 3GPP, отвечающим за разработку стандартов для мобильной телефонии. Поэтому 3GPP предложил стандарт LAA, разрешающий использование диапазона 5 ГГц, а LTE-U может быть регламентирован на региональном уровне. Оптимальный способ оценить возможности совместного существования в одном частотном диапазоне сотовой связи и Wi-Fi – использование испытательного стенда, позволяющего определить параметры беспроводной системы в реальных условиях.

Данный стенд создан на основе программно-определяемой радиосистемы USRP RIO и программного пакета LabVIEW Communications System Design Suite с расширением LabVIEW Communications LTE and 802.11 Application Framework. Графическая среда LabVIEW Communications позволяет воплотить идею от разработки алгоритма до его реализации в ПЛИС в рамках единого высокоуровневого представления системы. У инженеров появляется возможность фокусировать усилия на инновациях, а не на деталях реализации, что увеличивает скорость раз-

работки. ПО LabVIEW Communications включает в себя встроенные шаблоны приложений для Wi-Fi и LTE, помогающие ускорить работу над прототипом.

Каждое устройство USRP RIO, выполненное в форм-факторе 1U половинной ширины для монтажа в стойку, имеет два радиочастотных трансивера и построено на базе ПЛИС Xilinx Kintex-7 (410Т). Предлагаются несколько версий USRP RIO с диапазонами рабочих частот от 10 МГц до 6 ГГц, мгновенной полосой частот 40, 120 или 160 МГц и динамическим диапазоном до 80 дБ. Некоторые версии USRP RIO оснащены интегрированным GPS-приемником. ПЛИС Kintex-7 с возможностью программирования с помощью ПО LabVIEW Communications содержит сопроцессоры DSP48, необходимые для тестирования высокоскоростных приложений.

Следует отметить, что предыдущая версия USRP RIO имела только один канал трансивера и ее ПЛИС не могла быть запрограммирована с помощью ПО LabVIEW. Последняя модификация отличается более крупной ПЛИС и более быстрым интерфейсом. Два канала трансивера позволяют эмулировать, например, сети двух разных стандартов. В качестве интерфейса для связи с ПК или PXI-системой используется PCI Express.

Совместное применение PXI-системы, программно-определяемой радиосистемы USRP RIO и системы графического программирования LabVIEW – пример удачного объединения технологий. Пользователь тестового стенда может создать алгоритм, импортировать его в ПО LabVIEW, в котором интегрированы все драйверы, необходимые в разрабатываемой системе, и сконфигурировать канал трансивера. Наша платформа позволяет легко модифицировать параметры радиочастотного канала, в том числе тип модуляции, полосу частот, время передачи, время молчания, и быстро находить оптимальное решение, в отличие от заказных решений, которые требуют существенных затрат времени и средств. Главная причина, по которой многие компании выбирают нашу платформу, – скорость, с которой можно создать прототип системы "с нуля". Наш тестовый стенд позволяет проводить широкий спектр исследований, в том числе тестирование MIMO-систем, отладку синхронизации гетерогенных сетей, измерение спектра, формирование

диаграммы направленности антенн, радиопеленгацию и др.

Кроме того, наша платформа обеспечивает эмуляцию всех трех сценариев использования сетей 5G, о которых шла речь в начале нашего разговора.

NI тесно сотрудничает со многими организациями и компаниями в области исследований технологий 5G. Расскажите, пожалуйста, об успешных примерах такого партнерства.

Наша программно-аппаратная платформа на базе программного пакета LabVIEW Communications стала основой для создания многими компаниями и организациями прототипов перспективных беспроводных систем. Один из наших давних партнеров – Дрезденский технический университет (TU Dresden). Платформа на базе PXI Express с использованием модулей FlexRIO, содержащих ПЛИС, и ПО LabVIEW предоставляет специалистам из TU Dresden возможность исследовать перспективную схему модуляции на физическом уровне на основе GFDM-сигналов как альтернативу OFDM.

Другим примером сотрудничества являются совместные работы с Лундским университетом (Lund University), в рамках которых создан один из первых тестовых стендов для исследования в режиме реального времени прототипов систем Massive MIMO. В состав стенда входит базовая станция со 100 входными и выходными портами, то есть система содержит 100 антенн. К стенду можно подключить оборудование, имитирующее взаимодействие пользовательских устройств и базовой станции, созданной на принципах MIMO. Система построена на базе PXI Express-системы, подключенных к ней через интерфейс PCI Express двухканальных программно-определяемых радиосистем USRP RIO и ПО LabVIEW Communications. Коммутатор PCIe обеспечивает подключение десятков систем USRP RIO, формируя единый канал данных, в результате достигается агрегатная скорость передачи данных до 3,2 Гбит/с.

Актуальная проблема для крупных систем – жесткая синхронизация всех компонентов, что особенно критично для систем Massive MIMO. В состав тестового стенда Лундского университета входит модуль синхронизации, содержащий высокостабильный источник такто-

вого сигнала частотой 10 МГц (с точностью 80 ppb) и цифровое триггерное устройство для запуска сбора данных или генерации каждой радиосистемы.

Другой партнер NI – компания Nokia – использует платформу NI для исследований в области связи в миллиметровом диапазоне длин волн. NI и Nokia совместно разработали один из первых каналов связи миллиметрового диапазона, способный передавать данные на скорости до 10 Гбит/с. Платформа на базе PXI Express-системы, программируемых модулей FlexRIO и ПО LabVIEW Communications позволила создать прототип системы менее чем за год, что вдвое быстрее, чем это было бы возможно с помощью других инструментов.

Компания Samsung продемонстрировала прототип базовой станции на основе технологии FD-MIMO для 5G, построенный на платформе NI. Станция способна обслуживать множество пользователей, обеспечивая высокую скорость передачи данных. Прототип состоит из системы направленных антенн и четырех программно-определяемых радиосистем USRP RIO, эмулирующих терминальные устройства. Разработанные специалистами Samsung новые алгоритмы 3D-формирования диаграмм направленности обеспечивают поддержку одновременно четырех пользователей сети; при этом скорость передачи данных каждому пользователю достигает 25 Мбит/с.

Среди важных событий прошлого года можно отметить приобретение NI компанией BEEcube – одного из лидеров в области разработки прототипов и модулей для беспроводной связи на основе ПЛИС. Эта компания многие годы занималась исследованиями

Испытательный стенд для разработки прототипов сетей 5G на базе программируемой платформы BEE7



в области коммуникационных технологий, развития беспроводной инфраструктуры и достигла больших успехов. Представленная недавно компанией VEEcube программируемая платформа VEE7 на базе четырех ПЛИС Virtex-7 от Xilinx для разработки прототипов транспортных сетей 5G построена на основе модема миллиметрового диапазона, который подключается к двум 60-гигагерцовым широкополосным трансиверам и фазированным антенным решеткам, чтобы получить нужный частотный диапазон и полосу пропускания. VEE7 можно использовать для исследования алгоритмов на ранних стадиях разработки, их верификации в режиме реального времени, а также разработки и эксплуатационных испытаний прототипов. Система VEE7 выполнена в блейд-

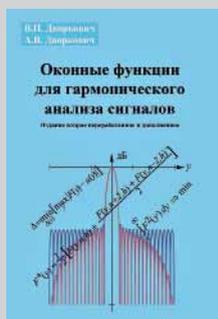
корпусе, который подходит для любых ATCA-шасси.

Несомненно, объединение NI с VEEcube, сотрудничество с другими компаниями и организациями позволят усовершенствовать нашу аппаратно-программную платформу и вовлечет в экосистему LabVIEW Communications новых пользователей, которые смогут общаться между собой на одном языке. Это, в свою очередь, ускорит исследования в области технологий 5G и усилит лидерство NI в сфере создания программируемых платформ для перехода на 5G. Скоро вы обязательно узнаете о новых решениях от NI, которые приблизят эру 5G.

Большое спасибо за интересный рассказ.

В.Ежов, О.Саликова

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 475 руб.

ОКОННЫЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

В.П.Дворкович, А.В.Дворкович

Издание второе, переработанное и дополненное

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2016. – 208 с.,
ISBN 978-5-94836-432-2

Книга содержит подробную информацию о параметрах классических оконных функций, оконных функций, сконструированных различными авторами в виде произведений, сумм и сверток различных функций или в виде отдельных участков известных окон, и их применении для анализа сигналов с использованием БПФ.

Приведены результаты авторской разработки ряда новых высокоэффективных оконных функций с применением следующих алгоритмов: минимизации спектра вне пределов заданного частотного интервала; минимизации различий формы и спектра оконных функций; максимизации скорости спада уровней боковых лепестков спектра оконных функций; перемножения относительных спектров оконных функций.

Особое внимание уделено анализу равноволновых окон Дольфа – Чебышева и Барсилона – Темеша, тождественно аппроксимируемых конечным числом косинусоидальных функций; с применением этих функций реализованы новые окна, обеспечивающие существенное подавление боковых лепестков.

Рассмотрены принципы обработки ограниченных по спектру сигналов с использованием субполосных дискретных вейвлет-преобразований от второго до пятого порядков и формирование на их базе оконных функций.

Подробно анализируются методы обработки видеоинформации с применением двухполосных и комбинированных вейвлетпреобразований, реализации на их основе кратномасштабных преобразований изображений.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 234-0110; 📠 (495) 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru