

НАША ЗАДАЧА – разработка технологий будущего

О системах 5G рассказывает **Теодор Сайзер** (Theodore Sizer), руководитель исследовательских программ Bell Laboratories в области беспроводной связи



В начале XIX века Наполеон I учредил премию в честь физика Алессандро Вольта. В 1880 году Французская академия от имени правительства присудила эту премию – тогда около 10 тыс. долл. – изобретателю телефона Александру Беллу, причем в состав жюри входили Виктор Гюго и Александр Дюма. Полученные деньги А.Белл вложил в создание исследовательского центра, который позднее превратился в один из ведущих в мире исследовательских институтов – Bell Laboratories в рамках компании AT&T. Здесь были созданы транзистор и лазер, операционная система UNIX и языки C/C++, приборы с зарядовой связью и волоконно-оптические системы, открыто реликтовое излучение и продемонстрирована волновая природа материи – и это лишь малая толика работ сотрудников Bell Labs. Причем восемь из них удостоены Нобелевской премии. Последние несколько лет Лаборатории Белла продолжают свою деятельность уже в рамках компании Alcatel-Lucent.

Один из глобальных трендов развития современных телекоммуникаций – разработка систем беспроводной связи нового поколения (5G). О том, как специалисты лабораторий видят будущее этого направления, на Всемирном конгрессе мобильной связи (MWC 2015) "Первой миле" рассказал д-р Теодор Сайзер, руководитель исследовательских программ Bell Labs в области беспроводной связи.

Господин Сайзер, каково, на ваш взгляд, будущее телекоммуникационных систем беспроводной связи в целом?

Вы обратились по адресу – моя команда в Bell Labs как раз

разрабатывает технологии будущего. Но прежде чем говорить о грядущих технологиях, давайте поймем, какие проблемы они должны решить. Что будет нужно обществу и телекоммуникационной отрасли в 2025 году?

Давайте начнем с того, что в 2025 году начнут свою трудовую стезю молодые люди, которые родились в 2000 году. Они росли в эпоху беспроводной связи и никогда не знали провода. Они никогда не жили без своего собственного телефона в кармане. Они вступили в жизнь в ту эпоху, когда можно, мгновенно соединившись с сайтом, получить нужную

информацию или связаться с друзьями. Люди нового поколения привыкли, что постоянно находятся на связи – без проводов, в любом месте, каждый миг. И они рассчитывают, что пропускная способность сети позволит передать им столько информации, сколько нужно. Причем очень быстро. Именно эту задачу и необходимо решить.

Итак, чего не хватает сегодня? У нас есть хорошие технологии для передачи голоса, хорошие возможности для веб-серифинга. Но пожалуй, это все. Мы не можем быстро загружать видео, нет хороших возможностей для

коммуникаций машина-машина, технологии в целом не готовы к эпохе Интернета вещей. Нет технологий для коммуникаций между транспортными средствами. Таким образом, мы уже видим множество приложений, которые не можем поддержать сегодня – но обязательно должны поддерживать завтра. Этого ожидает от нас молодежь, которая никогда не знала проводной связи. Мы не вправе обмануть ее ожидания и должны создать соответствующие решения – системы связи поколения 5G.

Какие основные задачи необходимо решить на пути к сетям 5G?

На этом пути нужно сделать три большие вещи. Первое – необходимо улучшить общую производительность сети – из конца в конец. Что я имею в виду? У меня на смартфоне установлены приложения, которые требуют различных ресурсов. Например, при обмене текстовыми сообщениями через WhatsApp объем передаваемых данных очень мал. И при этом мне безразличны задержки – придет сообщение секундой позже, я даже не замечу. И совсем другое дело – сетевая игра, где чрезвычайно важен очень быстрый отклик на удаленном устройстве (минимальные задержки), но объем данных невелик. А при двухстороннем сеансе видеосвязи важна скорость. Как видите, разные задачи диктуют разные требования. Соответственно, сеть должна понимать, какое приложение я использую, какие параметры сети для него наиболее важны, и адаптироваться под мою задачу.

Подчеркну, речь идет не только о собственно радиобмене, но о всех элементах сети – это и проводные каналы связи, соединяющие сеть радиодоступа с интернетом (опорные сети), это и сами ресурсы интернета, транспортные сети, ядро сети – то есть вся цепь доставки контента с нужной информацией – от одной точки до другой. И все эти разнообразные системы должны работать вместе, как одна, распознавая, какое приложение используется и выделяя для него ровно те ресурсы, задействуя именно те механизмы передачи данных, которые требуются: для видеоконференции они одни, для веб-серфинга – совсем иные. Это и обеспечивает требуемую производительность сети из конца в конец.

Второй важный момент – нам нужны очень, очень гибкие сети. Сегодня я могу рассказать лишь о некоторых приложениях, которые актуальны в будущем – например, об Интернете вещей. Но о многих приложениях я ничего не могу сказать, поскольку юным профессионалам, которые приступят к работе через 10 лет, еще предстоит их изобрести. Поэтому сети поколения 5G должны быть пригодными не только для уже известных применений – передачи голоса, быстрой трансляции данных, видеосвязи, Интернета вещей и т.д. – но и для тех задач, которые я не могу назвать сейчас, потому что просто их не знаю.

Соответственно, сетям необходима гибкость. Здесь могут помочь уже известные технологии, такие как программно-определяемые сети и виртуализация сетевых функций

(SDN/NFV). Идея в том, что процессоры становятся все более мощными. И те алгоритмы, которые раньше можно было реализовать только аппаратно, причем с помощью специализированных микросхем, сегодня исполняются на процессорах общего назначения – достаточно лишь написать программу. Мощная, унифицированная, а потому недорогая аппаратная платформа и сменяемое программное обеспечение – вот что позволяет создавать очень гибкие сети.

Третий аспект – время работы аккумуляторных батарей. Мы полагаем, что мобильные устройства, будь то планшетные компьютеры или мобильные телефоны, очень скоро станут для людей основным способом получения информации об окружающем мире, взаимодействия с миром. Но стоит разрядиться батарейкам – и связь с миром прервется. Это ставит перед нами вопрос – что можно сделать, чтобы максимально увеличить время работы от одной зарядки батареи? Из повседневного быта известно: лучший способ сберечь энергию – полностью выключить свет. Аналогично, создавая устройства для сетей 5G, мы должны обеспечить им возможность большую часть времени находиться в спящем режиме, быстро просыпаться, передавать данные и снова уходить в спящий режим. Это лучший способ экономии энергии, что должны принимать во внимание разработчики следующего поколения сетей.

Таким образом, вот три глобальные задачи – общая производительность всей сети,

очень гибкие сети и долгая работа от батарей, – которые необходимо решить.

Какие технологии обеспечивают решение этих задач?

Прежде всего, нужны новые технологии радиообмена – то есть технологии связи с мобильными устройствами. В радиоканале сети LTE используют технологии OFDM (или CP OFDM). Они очень хороши для быстрой загрузки данных. Но неэффективны для межмашинного обмена, когда необходимо передавать небольшие информационные посылки, причем достаточно редко. Сети LTE плохо справляются с такими задачами. Соответственно, технологии радиообмена будущего должны одинаково эффективно поддерживать как высокоскоростные приложения, так и задачи, когда необходимо раз в минуту передавать 10 бит. Это требует очень большой гибкости беспроводных интерфейсов. И мы в Bell Labs разрабатываем свою версию такого интерфейса, прототипы устройств уже представили на выставке MWC 2015.

Второе направление работ связано с поддержкой множества технологий радиодоступа. Если 10 лет назад каждый телефон содержал только один радиointерфейс, то сегодня в любом телефоне реализовано не менее полдюжины различных беспроводных интерфейсов – 2G, 3G, LTE, Wi-Fi, Bluetooth, NFC и т.д. И я могу использовать любые из них в любое время. Мы полагаем, что эта тенденция продолжится, и в будущем люди вообще не будут задумываться, какой технологией они в данный момент пользуются – LTE,

3G, Wi-Fi, связью в миллиметровом диапазоне или чем-то еще. Сеть сама должна определить наличные ресурсы доступа (например, точки доступа Wi-Fi, базовые станции сети 3G и 4G) и помочь выбрать оптимальный канал связи, поскольку абонентам дела нет до конкретной технологии связи – они хотят подключиться к сети и получать информацию. Предоставьте им такую возможность – и они будут счастливы. Именно это и должны уметь сети будущего. Поэтому одна из ключевых особенностей сетей 5G – способность использовать множество различных технологий.

Еще один вызов – в следующую декаду мы ожидаем существенного роста трафика в радиосетях. И есть только три реальных пути увеличить пропускную способность радиоканалов. Первый – это малые соты. Чем радиус соты меньше, тем меньше абонентов делят между собой ее ресурсы, и тем выше качество связи для каждого из них. По такому пути уже развиваются технологии LTE, и аналогичный подход сохранится и в 5G.

Второй подход к увеличению емкости радиоканала – рост спектральной эффективности, то есть сколько бит можно передать в единицу времени в единичной спектральной полосе (бит/с/Гц). Предел спектральной эффективности установил Клод Шеннон, который также работал в Bell Labs. В последние 10 лет спектральная эффективность оборудования сотовых сетей вплотную приблизилась к пределу Шеннона, и теперь стоит вопрос – как его преодолеть? Конечно, “в лоб” это сделать невозможно, поскольку он основан на фундаментальных

законах физики. Но можно обойти ограничение, используя многоканальные антенные системы (MIMO). Сегодня мы активно работаем в этой области, создаем системы с сотнями каналов (massive MIMO), тем более что именно в Bell Labs впервые ввели это понятие несколько лет назад*. Мы думаем о MIMO с 60-80-100-200 антеннами. Имея сотню антенных каналов, вы можете передать как минимум в 10 раз больше данных в той же спектральной полосе.

Конечно, мы говорим о MIMO-системах с сотней каналов только для базовых станций. Абонентские терминалы с MIMO – это было бы здорово, но едва ли реально и остро необходимо. Мы ожидаем, что базовые станции на основе технологий massive MIMO станут доступными в ближайшие пять или 10 лет, и это существенно увеличит пропускную способность радиоканалов.

Третий путь повышения емкости сети – это освоение новых спектральных диапазонов. Если у вас вдвое больше спектра – вы можете передать вдвое больше данных.

Но где найти недостающие спектральные ресурсы?

К сожалению, свободных спектральных ресурсов немного. Поэтому сегодня можно назвать два пути получения дополнительного спектра. Один из них связан с Wi-Fi. Устройства Wi-Fi работают в нелицензируемом

* Одним из пионеров этого направления выступает сотрудник Bell Labs Томас Марзетта (Thomas Marzetta). Более того, впервые принцип MIMO был предложен в 1984 году сотрудником Bell Labs Джеком Винтерсом (J. Winters, US Patent 4639914 Wireless PBX/LAN system with optimum combining).

диапазоне, который сегодня не используется в системах сотовой связи. Но завтра мы хотим задействовать и его, объединив сети Wi-Fi и 5G.

Второй способ – освоение миллиметрового диапазона длин волн. Это высокочастотный диапазон, где есть много широких полос, в которых можно достигать очень высокой скорости передачи данных. Миллиметровый диапазон уже около полувека используется для опорных сетей, в радиорелейных каналах, в спутниковых системах связи. Это старая добрая технология, но мы никогда не пробовали применить ее на уровне карманных мобильных устройств.

Конечно, миллиметровый диапазон сулит огромные возможности. Проблема в том, что радиоволны в этом диапазоне очень плохо проходят через стены, велико затухание при отражениях, поэтому связь возможна лишь в пределах прямой видимости. Конечно, и с учетом этого ограничения немало применений для систем миллиметрового диапазона. Скажем,

на футбольном стадионе, где достаточно просто гарантированно организовать каналы связи в зоне прямой видимости между абонентами и базовыми станциями. Но в условиях обычной сотовой сети такая возможность есть не всегда.

Поэтому сегодня мы изучаем вопрос совместного использования связи в миллиметровом диапазоне и в традиционном диапазоне ниже 6 ГГц. При возможности установить соединение в миллиметровом диапазоне – работаем в нем, одновременно поддерживая и более низкочастотные каналы. Если во время разговора абонент повернул голову, и его телефон оказался скрытым от базовой станции, связь не прервется, а просто переключится на другой, низкочастотный канал.

Насколько позволит преодолеть эту проблему технология mesh-сетей? Ведь в таких сетях два абонента могут не находиться в зоне прямой видимости – важно, чтобы между ними были другие абоненты, способные транслировать сигнал.

Mesh-сети – это ценная технология, используемая для организации связи внутри отдельных групп. Она хорошо подходит для туристских групп в горах, для связи армейских групп и т.п. Однако в основе mesh-технологии лежит взаимная ответственность участников группы за обеспечение связи, некая сетевая дисциплина. Иными словами, mesh-сети – это хорошая технология, когда абоненты взаимодействуют друг с другом, как одна команда.

Конечно, mesh-технологию можно использовать и для организации системы точек доступа, но здесь возникают две большие проблемы. Первая из них – если строить сеть доступа на основе mesh, один из mesh-узлов всегда должен быть подключен к интернету. Это означает, что потоки данных ото всех абонентов будут направляться через этот узел. На практике это с большой вероятностью приведет к перегрузке узла, он не справится с таким потоком данных. Следовательно, придется сокращать весь сетевой

трафик, поскольку в итоге он собирается в одном устройстве. Таким образом, mesh-сети существенно ограничены по объему передаваемой информации.

Однако mesh – это очень хороший способ обеспечить такую важную характеристику сети, как покрытие. Можно создать mesh-сеть точек доступа, но их потребуется в несколько раз больше, чем в случае с традиционными базовыми станциями, работающими в диапазоне ниже 6 ГГц. И здесь возникает другая проблема – финансовая. Чем больше базовых станций, тем дороже сеть. Иными словами, используя mesh-сеть, вы потратите на обслуживание того же числа абонентов при том же объеме трафика гораздо больше денег, чем при использовании централизованных базовых станций. Технически это, безусловно, возможно, но вот целесообразно ли финансово?

Кроме того, даже построив такую сеть, вы все равно не сможете на 100% гарантировать, что абонент находится в зоне прямой видимости точки доступа. Конечно, вы существенно повысите надежность связи в миллиметровом диапазоне, но не обеспечите 100%-ной надежности. Поэтому мы не считаем, что mesh-сети для 5G – это хорошее направление развития. Гораздо перспективнее, на наш взгляд, объединить миллиметровую связь с более низкочастотными технологиями. В итоге мы получим более устойчивую систему связи, в которой если возникает какая-либо проблема, всегда есть альтернативный способ ее решения.

Связь в миллиметровом диапазоне предполагает

применение очень узконаправленных антенных систем. Вы работаете в этом направлении?

Конечно, и здесь мы сотрудничаем с рядом компаний, специализирующихся на антенных системах. Построение узконаправленных антенных систем – это очень сложная задача. Поэтому мы ожидаем, что направленные лучи будут формироваться только на стороне базовых станций, в нисходящем канале. Чтобы формировать диаграмму направленности в мобильном терминале, необходимо преодолеть две большие проблемы. Во-первых, где разместить антенный массив? Как сделать так, чтобы он не был закрыт пользователем? Как позиционировать такое устройство, рассчитывать текущую диаграмму направленности? Это очень сложная задача с точки зрения разработки.

Вторая проблема – если вы используете адаптивную антенную решетку, например, из 10 элементов, это означает, что нужно 10 приемопередающих модулей. Это, с одной стороны, на порядок удорожает устройство. Кроме того, в 10 раз увеличивается энергопотребление и сокращается время автономной работы от батарей. Кроме того, не будем забывать, что такая система требует непрерывной адаптивной перестройки диаграммы направленности, чтобы луч всегда был направлен на базовую станцию. Значит, в мобильном устройстве необходимо реализовать множество процессов сложной обработки. Поэтому у меня есть сильные сомнения, что если мы даже сумеем создать мобильное устройство с динамическим формированием диаграммы

направленности, время его работы от батарей будет сколь-нибудь приемлемым.

Вы называете увеличение времени автономной работы одной из основных задач при создании технологий 5G. Сегодня активно развиваются технологии дистанционного питания устройств, в том числе по каналам в миллиметровом диапазоне. Насколько это реально для систем беспроводной связи?

Что касается энергопитания абонентских устройств по радиоканалам – мы работали в этой области и не думаем, что это верный путь. Причина проста – сегодня энергопотребление мобильного устройства – а это и дисплей, и радиомодуль, и процессор, и т.д. – весьма велико. Конечно, все работают над оптимизацией энергопотребления, но тем не менее при попытке запитать его по беспроводному каналу мы неизбежно превысим уровень допустимой мощности радиосигнала, установленный в любой стране. Это просто опасно для здоровья людей.

Однако мы ведем эксперименты в этом направлении, но по отношению к базовым станциям. Кроме того, мы изучаем и альтернативные источники энергии. Например, у нас есть проект создания малой базовой станции с питанием только от солнечной батареи. Этот проект выглядит привлекательно, полагаю, мы сможем его успешно завершить.

Спасибо за очень интересный рассказ!

С Т.Сайзером беседовал
И.Шахнович

