

Шестое поколение мобильной связи

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

"Будущее принадлежит тем, кто верит в красоту своей мечты".

Элеонора Рузвельт

Примерно каждые десять лет мобильная связь претерпевает смену поколений. Однако интервал времени между так называемыми G уменьшается. В то время как системы пятого поколения (5G) становятся коммерческой реальностью, уже существует значительный интерес к системам, выходящим за рамки 5G, которые уже называют беспроводными системами шестого поколения (6G). Обычно описание очередного G начинается со скоростей передачи информации и используемых несущих радиочастот. Однако настало время, когда вначале описывают цели, а уж потом средства. Благо, технологический задел у мобильной индустрии наработан значительный.

Кстати, пару лет назад на одной из конференций с докладом о поколении мобильных технологий 5G выступал эксперт японского оператора NTT DoCoMo, который предположил, что концепция 5G, скорее всего, получится неудачной. То ли в шутку, то ли всерьёз он поделился своим наблюдением о том, что поколения мобильной связи с нечётными номерами всегда являлись неудачными, делая вывод, что такая же участь постигнет и 5G. А удачными были, наоборот, только поколения с чётными порядковыми номерами, пока это только 2G и 4G. Однако удачи чётных поколений, по мнению этого эксперта, закладывались внутри нечётных.

Впрочем, так оно и было. Технологии 1G жили сами по себе, обладая достаточным количеством недостатков, и потому долго не прожили. В свою очередь, цифровые системы поколения 2G (D-AMPS, GSM, cdmaOne) по сравнению с аналоговыми системами обладали высоким качеством, причём GSM была настолько удачной с точки зрения тщательного подхода к предоставляемым сервисам, что ей до сих пор пользуются практически все мобильные абоненты, где эти сети ещё не заменили на 3G/4G.

Технология 3G (W-CDMA, cdma2000 и др.), на которую в конце XX века возлагалось много надежд, связанных с будущей интернет-экономикой, передачей видео и пр., этих надежд в целом не оправдала, потому что и интернет-экономика оказалась недостаточно зрелой (крах т. н. доткомов), да и техническая база не успевала за пожеланиями передовой части общества. Скорости передачи были недостаточными, а терминалы напоминали кирпичи. А ведь предполагалось, что весь бизнес переместится в Интернет, который будет неограниченно доступен на любом устройстве — мобильном или фиксированном, с нужной скоростью, в нужном месте и с нужным количеством информации, которую можно будет получить в два клика на экране. Не вышло.

Прошли годы, пока появились модификации 3G, обеспечивающие многомегабитные скорости, а телефоны превратились в смартфоны. Зато системы 4G, впитавшие в себя параллельный стандарт WiMAX (IEEE 802.16), обеспечили, наконец, долгожданное единение мобильной индустрии в рамках единого стандарта LTE/LTE-Advanced, а также предоставили действительно большие для второго десятилетия XXI века скорости передачи информации (до 100 Мбит/с и выше).

Мобильной индустрии, получившей многие миллиарды долларов прибыли, было нужно "продолжение банкета", и она завлекла потенциальных потребителей системами 5G, которые обещали и обещают запустить беспилотный транспорт и предоставить всем одушевлённым и каждой вещи преимуществу Интернета вещей, освоив все возможные радиочастоты в диапазоне до 80 ГГц. С одной стороны, технологии 5G ещё надо доработать, а сети 5G ещё надо развернуть. С другой стороны, сети 5G предоставляют пока лишь скорости передачи побольше, и у сетей 5G уже появилось и много противников, которым не нравится это

самое излучение, от которого, по их словам, гибнет всё живое и расцветает всё нехорошее, вроде вирусных штаммов. В общем, японский эксперт может оказаться прав.

Кажется, что ничего умнее уже не придумать, и пятое поколение сетей — это предел развития человеческой мысли, и дальше идти просто некуда. Однако повышенное внимание к 5G со стороны правительств разных стран политизировало технологию и привело к тому, что сегодня в индустрии беспроводной связи, как заявляют китайские эксперты, складываются не самые благоприятные условия для работы над 5G. Так что, по их мнению, для учёных сейчас самое время заниматься фундаментальной работой по определению очередного поколения 6G и сценариев его использования. В частности, специалисты компании Huawei полагают, что коммерческий дебют нового поколения состоится в 2030 г., а скорости передачи информации 6G будут в 50 раз больше, чем 5G. Ну а сейчас самое время в сотрудничестве с другими игроками коллективно сформулировать определение для 6G в течение следующих десяти лет. Что же касается Huawei, то компания обещает вскоре выпустить "Белую книгу 6G", чтобы объяснить отрасли, что же такое 6G.

Не так давно основатель компании Huawei Жэнь Чжэнфэй на собрании штатных разработчиков компании призвал их не медлить с разработкой технологий связи поколения 6G и обещал более активно привлекать талантливых специалистов на мировом рынке труда. Делаться это будет за счёт более конкурентных предложений по уровню зарплаты.

Так что же появится в шестом поколении мобильной связи? Конечно, технологии ещё не готовы, но готовы некоторые фантазии футурологов от телекоммуникаций и не только.

Комплексное (системное) обсуждение систем 6G начинается сегодня с изменений в образе жизни и общества, вызывающих потребность в сетях следующего поколения. За этим следует обсуждение технических требований, необходимых для работы приложений 6G, на основе которых анализируются ключевые проблемы и возможности для практически реализуемых системных решений.

Эксперты говорят, что сеть 6G приведёт к полностью связанному миру интеграции наземной беспроводной и спутниковой связи, который может достичь бесшовного глобального покрытия за счёт интеграции с низкоорбитальными системами спутниковой связи, развёртывание которых мы сейчас наблюдаем. Кроме того, сети 6G также преодолеют нынешнюю слабость сетей 5G — проблемное соединение при высокоскоростном движении. Поддерживаемая скорость будет превышать 1000 км/ч. В общем, не только высокоскоростная железная дорога, но и авиатранспорт стало бы более удобным с 6G.

Согласно ITU-T (международный союз электросвязи — телекоммуника-



ционный сектор), тремя наиболее важными движущими характеристиками, связанными со следующим десятилетием образа жизни и социальных изменений, влияющих на дизайн и перспективы сетей 6G, являются:

— голографическое общество высокой точности;

— связь для всего сущего;

— чувствительные ко времени и спроектированные ко времени приложения (если говорить по-русски, то применительно к информации — хорошая ложка к обеду).

В сети будущего будут заложены такие концепции, как использование голограмм в качестве средства коммуникации, распространение носимых устройств для распознавания эмоций, массовое внедрение средств контроля психического здоровья.

Голографическое общество высокой точности включает в себя дальнейшее развитие видео, которое всё чаще становится предпочтительным способом коммуникации и преобразуется в дополненную реальность (AR). Степень разрешения видео увеличивается сегодня с большой скоростью. Например, пользовательское оборудование, поддерживающее видео 4K, требует скорости передачи данных 15,4 Мбит/с (на каждый терминал). Кроме того, время просмотра также увеличивается до такой степени, что теперь для конечных пользователей стало нормой смотреть полные телепрограммы, спортивные мероприятия в прямом эфире или потоковое вещание по запросу. Ожидается, что по мере того, как мы вступаем в следующее десятилетие, спрос на такой контент будет расти чрезвычайно быстрыми темпами. В частности, продолжающаяся пандемия COVID-19 показывает, что видеосвязь позволяет людям, предприятиям, правительствам, медицинским работникам и их пациентам оставаться в виртуальном контакте, избегая необходимости путешествовать, оставаясь при этом социально, профессионально и коммерчески активными. В то время как учебные заведения остаются закрытыми, онлайн-обучение возможно через видеосвязь. Ведущие конференции и семинары по всему миру уже проводятся виртуально с использованием видеointерфейсов в реальном времени. Ожидается, что многие подобные разработки останутся активными даже в эпоху после COVID-19.

Впрочем, уже есть дополненная и виртуальная реальность (VR), где-то не на очень далёком подходе — голография в реальном времени, начинается заселение виртуальных пространств аватарами людей и даже государств. Эти аватары уже могут прикасаться к живому человеку, и последний почувствует это прикосновение. Впрочем, понятие "тактильный Интернет" уже используется специалистами при описании сервисного потенциала будущих телекоммуникаций. Различные сенсорные ощущения могут быть объединены с голограммами, и в материалах, посвящённых сетям 6G, уже используется термин

Internet of Skills (дословно — Интернет навыков), подчёркивая тем самым возможность передавать знания и умения через Интернет средствами VR-решений и с помощью голограмм. Иначе говоря, новые знания будут приходиться в виде открытия непосредственно из информационной среды (да ещё под влиянием какого-нибудь искусственного интеллекта). Также многим уже очевидно, что дальнейшее развитие здравоохранения и, тем более, переход к 4G-медицине совершенно невозможно себе представить без генетического тестирования, хранения и передачи геномов по сетям связи.

В общем, если присмотреться, можно заметить достаточно большое число технологических решений, развивающихся прямо сейчас и способных ещё больше изменить нашу жизнь. Например, представьте, что во время видеоконференции в Zoom вы сможете видеть не "шахматную доску" из участников, а трёхмерные голографические изображения посетителей онлайн-собрания (а то и сумеет пожать им руки или даже поцеловать, что в эпоху всемирной пандемии может быть актуальным). Интернет-приложения и web-сайты смогут устанавливать тактильные связи с пользователем, передавая ощущения прикосновения. Прототипы технологий, вроде электронно-механических приставок к человеческому телу, позволяющие передавать касания, запахи и объёмное звучание, уже существуют. Важной, но вполне реализуемой задачей остаётся вопрос их массового внедрения. Кому-то это покажется интересным, а кто-то обязательно захочет на этом заработать. Причём каких-то лет десять назад никто и представить не мог, что VR-решения будут доступны широким массам. Однако сегодня оборудование для VR уже можно приобрести в обычном магазине цифровой техники, а приложения для виртуальной реальности — скачать из Интернета. В ведущих вузах появляются новые дисциплины, связанные с изучением VR-технологий, открываются лаборатории AR.

Голограммы и мультисмысловые коммуникации — следующие рубежи в этом виртуальном способе коммуникации. В 2017 г. известный физик Стивен Хокинг прочитал лекцию аудитории в Гонконге с помощью голограммы, продемонстрировав растущий потенциал такой технологии. Голограммы — это не просто технологический трюк или только развлечение, это, скорее, логическая эволюция видеосвязи, обеспечивающая гораздо более богатый пользовательский опыт. Проверочные испытания голографического телеприсутствия уже ведутся. Когда он развёрнут, голографическое присутствие позволит удалённым пользователям визуализированное локальное присутствие. Например, технические специалисты, выполняющие удалённое устранение неисправностей и ремонт, врачи, выполняющие удалённые операции, и улучшенное дистанционное обучение

в классах могут извлечь выгоду из визуализации голограмм.

Значительный потенциал содержит голографическое телеприсутствие для ликвидаторов различных ЧС, военных и, конечно, политиков. Голограмма полностью передаёт функционал своего источника информации, создавая максимально возможный эффект присутствия. Однако повредить этому источнику, воздействуя на голограмму, невозможно. Поэтому самые разные лица могут, к примеру, виртуально присутствовать в самых горячих точках планеты, не опасаясь за свою жизнь и производя максимальный психологический эффект на тех, кому они не по нраву.

Скорость передачи данных для голограмм требует очень высокая (по крайней мере, на сегодняшний день). Помимо стандартных свойств видео, таких как цвет, глубина, разрешение и частота кадров, голографические изображения потребуют передачи с нескольких точек обзора, чтобы учесть изменение наклона, углов и положений наблюдателя относительно голограммы. В качестве примера, если человеческое тело нанесено на карту, скажем, с размерами 4×4 дюйма, тогда человеку размерами шесть футов на 20 дюймов для передачи его голограммы может потребоваться скорость передачи 4,32 Тбит/с. И это значительно больше, чем могут предоставить системы 5G.

Кроме того, чтобы постоянно обеспечивать такие высокие скорости передачи данных, требуется дополнительная синхронизация для координации передач с нескольких точек зрения, обеспечивая беспрепятственную доставку контента и удобство для пользователя. Некоторым приложениям может потребоваться объединить голограммы с данными из других источников. Это позволит передавать данные обратно в визуализированный объект из удалённой точки. Комбинации тактильных сетей и голограмм, особенно если мы сможем прикоснуться к последним, могут открыть новые приложения. В то время как аудио, видео и голограммы связаны со зрением и слухом, специалистами уже рассматривается возможность общения с участием всех пяти органов чувств, включая обоняние и вкус, а также эмоции. В целом с голограммами можно интегрировать самые разные сенсорные ощущения. С этой целью использование голограмм в качестве средства коммуникации, носимых устройств с распознаванием эмоций, способных контролировать психическое здоровье, облегчать социальные взаимодействия и улучшать жизненный опыт, поскольку сами пользователи станут строительными блоками сетей будущего.

Связь для всего сущего подразумевает использование 5G в качестве платформы. Порядок или даже большее число запланированных взаимосвязей и их широкое использование будут ещё одной определяющей характеристикой будущего общества. Это будет включать инфраструктуру,

которая необходима для бесперебойного функционирования общества, к которому мы привыкли сегодня, например, водоснабжение, сельское хозяйство, бесперебойное электро-снабжение, транспорт и логистические сети. Это приводит к необходимости работать с несколькими типами сетей, выходящими далеко за рамки современных стандартных наземных сетей связи. Предпринимаются значительные попытки разработать непрерывный глобальный широкополосный доступ посредством интеграции между наземными сетями и многими запланированными спутниковыми сетями, особенно для низкоорбитальных спутников. Связь с движущимися платформами, такими как системы на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), также требуется, поскольку появляется много новых приложений. Вдобавок к этому есть желание исследовать жизнь на других планетах. Успешная работа такой критически важной инфраструктуры приводит к необходимости обеспечения безопасности за пределами того, что возможно сегодня. В дополнение к этому, повышенная надёжность датчиков, контролирующих инфраструктуру, также важна для успешного перехода к действительно подключённому к сети обществу.

Приложения, чувствительные ко времени и времени разработки, означают следующее: люди и машины чувствительны к задержкам доставки информации (хотя и в разной степени). Своевременность доставки информации будет иметь решающее значение для сильно взаимосвязанного общества будущего. Новые приложения, которые интеллектуально взаимодействуют с сетью, потребуют гарантированной пропускной способности и своевременности поступления. По мере того как мы внедряем гаджеты в нашу жизнь, быстрее реагирование и взаимодействие в режиме реального времени будут иметь всё большее значение. В сети с огромным количеством подключённых датчиков, которые являются конечными точками связи, своевременность становится критически важной, а позднее поступление информации может даже иметь катастрофические последствия. Чувствительность ко времени также оказывает глубокое влияние на другие способы связи в будущем, такие как тактильный контроль. Собственно, настает время, когда тактильный Интернет предоставит платформу для прикосновения и активации в реальном времени. Ведь из-за существующего системного дизайна и архитектурных ограничений современные системы 5G не могут полностью виртуализировать какие-либо навыки, выполняемые в другой части мира, и перенести их в выбранное место с задержкой реакции человека в 1 мс. Это будет решено в системах 6G с более компактной сетевой архитектурой и более продвинутой обработкой данных.

Поскольку многим приложениям 6G потребуются доступ к радиоспектру с

очень широкими полосами частот, использование диапазона от 100 ГГц до 1 ТГц приобретает первостепенное значение. В целом экосистема 6G будет иметь широкий диапазон частотных диапазонов от 6 ГГц до 1 ТГц. Разумеется, сегодня существуют ограничения, которые необходимо преодолеть для реализации рабочих систем в указанных диапазонах. Специалисты формируют новый взгляд на проблемы физического и более высокого уровня, связанные с проектированием базовых сетей следующего поколения, новыми методами модуляции и кодирования, новыми методами множественного доступа, антенными решётками, распространением волн, конструкции радиочастотных приёмопередатчиков и обработки сигналов в реальном времени. В настоящее время обсуждаются фундаментальные изменения, которые потребуются в базовых сетях будущего, такие как редизайн или значительное сокращение транспортной архитектуры, которая служит основным источником задержки для чувствительных ко времени приложений. Это, к примеру, резко контрастирует с существующими иерархическими сетевыми архитектурами, которые не подходят для реализации многих ожидаемых услуг 6G.

Итак, 6G будет соединять не только людей, но также и автономные подключённые вещи (устройства). И дело тут совсем не только в скорости. Новое поколение будет отличаться следующим:

- горизонтальная технологическая коммуникационная платформа для многих разнородных отраслей всей экономики, от здравоохранения и автомобильной промышленности до сельского хозяйства и госуправления. Модули связи, встроенные во все другие системы, станут "новым электричеством", от которого будут зависеть все отрасли и повседневная жизнь (впрочем, и про "старое" электричество забывать не стоит);

- всё внимание к крайне низкой задержке распространения сигнала. Предыдущие поколения беспроводных сетей в основном фокусировались на пропускной способности канала, т. е. того, какой объём данных можно через него пропустить в единицу времени. Чем больше пропускная способность, тем больше "труба" для таких услуг как, например, видеосервис Netflix. В 6G, наоборот, больше внимания будет уделено задержкам сигнала в сети, что выливается в то, сколько времени надо на реакцию и обучение сети. Типичное применение — аналитика на границе сети для Индустрии 4.0, например, граничные устройства Интернета вещей (IoT), взаимодействующие с AR;

- гетерогенные (разнородные) сети. Есть много типов беспроводных сетей: сотовые, Wi-Fi, спутниковые (тоже нескольких типов, низко- и высокоорбитальных спутников). 6G будет объединять всё это сетевое разнообразие, причём как публичные, так и частные (корпоративные).

Исследования беспроводных систем 6G в настоящее время находятся в центре внимания большого числа публикаций в журналах и конференциях, основных докладов и панельных дискуссий на ведущих конференциях и семинарах, а также в рабочих группах органов по стандартизации, таких как ITU-T. Для подавляющего большинства этих исследований объём работ варьируется от характеристики потенциальных вариантов использования 6G и определения их требований до анализа возможных решений, в частности, для физического стека взаимодействия открытых систем (OSI).

Существующие технологии 4G и ожидаемые скорости передачи данных в 5G не смогут обеспечить реализацию указанных выше возможностей. Необходимые технические требования для реализации голографической и VR-связи будут описаны в стандартах для 6G-сетей. И кто знает, к чему приведут нас возможности такого рода коммуникаций.

Чтобы реализовать потенциал 6G, нужно достаточно много сделать в области выделения спектра и разработки сетевых архитектур. Вот три примера архитектурных инноваций 6G:

- 6G будут сосредоточены в основном на границе сети. Каким бы мощным ни было центральное облако и большие дата-центры, а информация, по большей части, будет обрабатываться на границе сети (Edge Computing). Этот тренд будет определяющим в том, как полностью раскрыть потенциал 6G;

- 6G будет более открытой сетью (сетями). Архитектура сети будет становиться всё более модульной по древнему принципу "разделяй и властвуй". Но в хорошем смысле. "Властуй" здесь означает "управляй более эффективно". Сам Интернет стоит на взаимодействии (интерфейсах) между его уровнями. Открытая архитектура будет способна эффективно и по требованию менять модули в радиосети и даже другие вышестоящие уровни, например, транспортный, как это нужно для наиболее эффективного предоставления той или иной услуги;

- 6G будет более доступной по отношению к её сервисам, услугам и приложениям. Сама инфраструктура, как и спектр беспроводных сетей доступа 6G, будет динамически "нарезаться", чтобы облегчить формирование приложения из нескольких модулей и снизить тем самым стоимость развёртывания и обслуживания инфраструктуры.

Все эти инновации уже сегодня выходят за рамки лабораторий и тестовых зон, и часть из них будет опробоваться и реализовываться уже в 5G. Можно сказать, что между 5G и 6G не будет такого резкого водораздела, как, например, между 2G и 3G или 4G и 5G. И всё это будет происходить уже в текущем десятилетии.

Есть одно интересное наблюдение, о котором нельзя не упомянуть, и заключается оно в том, что, когда

речь заходит о скоростях 200 Гбит/с для одного абонента, кабельные соединения называют узким местом для реализации таких скоростей. Интересно то, что парадигма представления о возможностях проводной и беспроводной связи на протяжении последних двадцати лет несколько раз менялась, и, бывало, делались диаметрально противоположные утверждения. Было время, когда индустрия телекоммуникаций делала ставку на медные кабельные линии связи, аргументируя это тем, что беспроводная передача данных просто неспособна обеспечить высокие скорости. Когда появились беспроводные технологии MIMO, миллиметровый диапазон и эффективные виды модуляции сигнала, ставку уже делали на беспроводную связь. Позже предел роста скоростей беспроводных сетей был достигнут, и все начали говорить о том, что без оптических кабелей никуда, по крайней мере нужно же как-то объединять в микросоты элементы 5G сетей между собой. Сегодня в 6G картина снова меняется, поскольку мы движемся к более высоким скоростям передачи данных, проводные каналы опять называют одним узким местом, от которого нужно будет уходить, переводя всю коммуникацию в пространственно-независимый вариант.

Также в концепцию 6G будут заложены так называемые Hot Points (горячие точки) с чрезвычайно высокими скоростями передачи данных в несколько Тбит/с. Разумеется, чтобы официально заявлять о реализации подобных точек консолидации, необходимо провести ещё много исследований и только после этого перейти к фактическому процессу стандартизации.

Несомненно, что с выходом 6G, ориентированного на терагерцовые частоты, возникнут большие проблемы при создании нового оборудования. Для более быстрых устройств также потребуются более совершенные полупроводниковые технологии. Проблемы энергопотребления также не стоит выводить на второй план. Впрочем, подобные проблемы регулярно возникали и в сетях всех предыдущих поколений. Есть ощущение, что всё указанное выше однажды появится, и это лишь вопрос времени. Другой вопрос: как мы всем этим воспользуемся?

По материалам Proceedings of the IEEE (Volume: 109, Issue: 7, July 2021), а также TACC, huawei.com, shalaginov.com, itweek.ru, cnews.ru, androidauthority.com, prc.today, nag.ru, znanuku.mipt.ru, habr.com

МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

Для Вас, радиолюбители!

РАДИО элементы, наборы, материалы, корпуса — наложенным платежом.

Бесплатный каталог.

426072, г. Ижевск, а/я 1333.

ИП Зиннатов Р. К.

Тел. 8-912-443-11-24,

rtc-prometej@yandex.ru

* * *

Дистанционные курсы обучения программированию микроконтроллеров STM32, AVR, Arduino, PIC, STM8 и др.

Занятия проводятся по электронной почте или с помощью программы Skype.

Обучение может быть направлено на решение стоящей перед вами задачи.

www.electroniclab.ru/courses.htm

т. +7-912-619-5167