

УДК 621.396.7

ТЕХНОЛОГИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА: ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

С. С. Аджемов, начальник отдела НИЧ МТУСИ, д. т. н.

Ю. Ф. Урядников, зав. кафедрой «Теория электрических цепей» МТУСИ, д. т. н.; ujf@yandex.ru

Ключевые слова: широкополосный доступ, проводной доступ, беспроводной доступ, радиодоступ, технологии широкополосного доступа.

Введение. Тройка ведущих технологий (индустриальная, информационная и телекоммуникационная), в конце прошлого тысячелетия запряженная землянами в карету мирового прогресса, уверенно держит путь к Глобальному информационному обществу (ГИО). В основе этой уверенности как потребности общества, так и постоянный рост трафика, достижения в области инфокоммуникационных технологий (ИКТ), позволившие создать архитектуру мультисервисных сетей, обеспечившие предоставление огромного спектра услуг пользователям стационарных и подвижных телефонных сетей. Важнейшим технологическим условием построения ГИО является создание и развитие адекватных сетей широкополосного доступа (ШПД) к ресурсам мультисервисных сетей, ибо какими бы фантастическими возможностями ни обладали последние, пользователи не смогут ими воспользоваться, если не получат доступ к ним.

В последние годы спектр технологий ШПД, использующих традиционные и нетрадиционные линии связи в различных средах распространения (медь, алюминий, эфир, оптоволокно), существенно расширился. Высоким требованиям по широкополосности в большей степени отвечают спутниковые технологии на частотах дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов либо оптические диапазоны на земле (FTTx, FSO и др.). Если же брать за основу стоимость предоставления услуг, то перспективными представляются технологии на базе уже построенной инфраструктуры с использованием телефонных и радиотрансляционных линий, линий электропередачи и кабельного телевидения, различных систем радиодоступа (xDSL, PLC, Wi-Fi, WiMAX и др.). Широкополосный доступ как ключевой экономический индикатор, кроме высокой скорости, обеспечивает непрерывное подключение к Интернету и так называемую двустороннюю связь, т. е. возможность принимать и передавать информацию на высоких скоростях одновременно. ШПД не только формирует богатство информационного наполнения (контент) и услуг, но и преобразует весь Интернет в плане сервиса.

В 2009 г. число абонентов ШПД в России достигло 11,3 млн человек, в том числе в Москве — 2,9 млн, Петербурге — 1,05 млн (данные Advanced Communications & Media). На конец 2009 г. проникновение широкополосного доступа, по словам министра связи и массовых коммуникаций РФ И. О. Щёголева, составило 26%. К 2015 г. пользовательская база ШПД в мире, по оценкам экспертов, превысит 3 млрд человек.

Краткая история технологий доступа. Родоначальником электронных сетей передачи данных можно считать П. Л. Шиллинга (первый электромагнитный телеграф, 1832), С. Ф. Б. Морзе (аналогичный аппарат, 1837; первый

телеграфный код — азбука Морзе, 1838), Ж. М. Э. Бодо (первый мультиплексор, передача в одном проводе до шести телеграфных каналов, 1874), А. Г. Белла (телефон, 1875), Э. Грея (телефон плюс основы технологии телефонных сетей). К прогрессу проводных телекоммуникационных технологий причастны многие.

В XIX же веке, когда были созданы теоретические предпосылки принципов радиосвязи, появились беспроводные технологии связи. Здесь тоже трудно отдать приоритет кому-то одному: в 1893 г. Н. Тесла продемонстрировал передачу энергии электрических сигналов без проводов, в 1896 г. А. С. Попов передал первую в мире радиограмму, а Г. Маркони запатентовал изобретение электрической связи на расстояние без проводов.

В XX веке высокий темп изобретений и открытий в области технологий коммуникационных сетей задали достижения электроники и появившейся в середине столетия информационной технологии. Основные вехи: 1946 г. — первая система подвижной телефонной связи (хотя реальная система сотовой связи поступила в эксплуатацию лишь в 1978 г.); начало 60-х годов — зарождение эры спутниковой связи; 1962 г. — идея создания единой сети связи, прообраза Интернета, выдвинутая в статье А. А. Харкевича «Информация и техника».

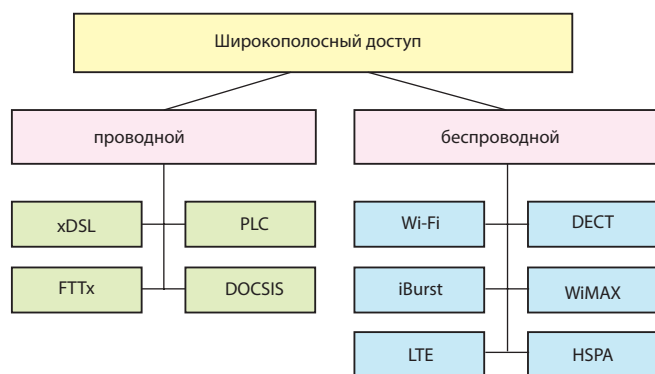
Затем эстафету приняли ИКТ. 1969 г. (сеанс связи между первыми узлами компьютерной сети ARPANET) можно назвать датой рождения сети Интернет, которая оформилась как международная сеть в 1973 г. (впрочем, первая программа для электронной почты была разработана в 1971 г., а система доменных имен появилась лишь в 1984 г.). Первое подключение по телефонной линии (дозвон — dial-up) было осуществлено в 1990 г., а уже через год Всемирная паутина стала общедоступной. 1991 г., видимо, и следует считать началом «доступа» в современном понимании этого слова, т. е. доступа к спектру услуг сети, поскольку завершился этап создания отдельной сети для каждой услуги связи. Но ШПД появился чуть позже. Теоретически возможность широкополосной передачи по существующей телефонной сети была доказана в 1989 г., однако стандарт наиболее популярного модема технологии ADSL (асимметричная цифровая абонентская линия) как ответ на существенно расширившийся спектр услуг сети был утвержден в 1999 г. Затем в течение одного-двух лет появилось множество технологических решений ШПД, самыми значимыми из которых являются оптоволокно в дом и беспроводной доступ.

В ряду основоположников теории связи как отечественные ученые (Б. А. Введенский, В. А. Котельников, А. И. Берг, А. Л. Минц, А. Н. Колмогоров, А. А. Харкевич, Я. З. Цыпкин, М. В. Шулейкин, А. Я. Хинчин, В. И. Сифоров и др.), так и зарубежные (К. Эрланг, Г. Найквист, Н. Винер, К. Шеннон, Р. Пирс, С. Райс, Д. Миддлтон и др.).

Значителен вклад в копилку мирового прогресса телекоммуникаций, в том числе в развитие сетей доступа, МТУСИ. Подготовка специалистов электрической связи

по проводам началась в 20—30-е гг. на кафедрах автоматической электросвязи, многоканальной электросвязи, радиопередающих устройств, радиоприемных устройств, линий связи, теории электрической связи, теории электрических цепей и др. А в 50—60-е гг. к этому процессу подключаются новые кафедры: радиотехнических систем, электроники и микроэлектроники средств телекоммуникаций, метрологии, стандартизации и измерений, систем радиосвязи и др. Целая плеяда выдающихся ученых, конструкторов, изобретателей и педагогов определила будущий научный потенциал университета: академики В. А. Котельников и А. А. Харкевич, профессора П. А. Азбукин, П. К. Акульшин, Н. А. Баев, А. С. Беркман, А. А. Вульф, И. Е. Горон, Г. В. Дашкевич, Л. А. Жекулин, А. Н. Казанцев, И. В. Коптев, И. А. Кошечев, Е. В. Китаев, Г. А. Левин, Б. Р. Левин, Ю. В. Лазарев, М. Г. Марк, Е. В. Мархай, Г. П. Матов, М. В. Назаров, В. Б. Пестряков, Б. П. Терентьев, Б. В. Халезов, М. Ю. Юрьев, С. Я. Турлыгин, И. А. Черданцев, М. В. Шулейкин и др.

Проводной широкополосный доступ. Огромное число технологий, реализующих ШПД, можно разделить на проводные (wireline) и беспроводные (wireless). Отличительный признак первых — доступ посредством соединительного провода (медного, алюминиевого, оптоволоконного), главное преимущество — «воспроизводимость» частотного ресурса. В беспроводных технологиях вместо «провода» — «эфир», поэтому их часто обозначают словом «радиодоступ». Термин «радио» вытеснил термин «беспроводной», используемый на заре развития радиотехники, когда появилось радиовещание, радиолокация, радиотелефония, радионавигация и др. Но затем возникли новые технологии радиосвязи (сотовая телефония, пейджинг, бесшнуровая телефония, абонентский радиодоступ и др.) и термин «беспроводной» обрел вторую жизнь в значении «удаленный доступ к сетевым узлам или серверам по радиоканалам». Классификация основных технологий ШПД на физическом уровне представлена на рисунке.



Одной из наиболее удачных технологий проводного ШПД, позволяющей использовать абонентские линии существующей телефонной сети, по праву считается xDSL (табл. 1), где «x» обозначает начальный символ в названии конкретной технологии ШПД. Самая первая — HDSL, в которой использовался алгоритм кодирования 2B1Q (4-уровневая импульсно-амплитудная модуляция, в каждом символе два бита) и механизм эхоподавления, что дало возможность по двум-трем витым парам передавать данные на расстояние до 6 км со скоростью более 2 Мбит/с без регенерации (при диаметре жил кабеля 0,5 мм). По каждой паре осуществлялся дуплексный обмен на скоростях до 1,024 Мбит/с. Принципиально то, что HDSL и ее вариации обеспечили повышение дальности передачи (без поте-

ри скорости) за счет повторителей, берущих энергию для работы непосредственно из линии, т. е. при их установке потребности во внешнем источнике питания не возникало. HDSL является симметричной технологией.

На начальном этапе ADSL позволяла передавать данные клиенту со скоростью 6 Мбит/с на расстояние до 6 км; скорость данных от абонента ограничивалась 64 кбит/с. Такие характеристики вполне удовлетворяли требованиям услуги «видео по запросу» (VoD), однако она не получила широкого распространения, зато асимметричная технология оказалась весьма востребованной для высокоскоростного доступа в Интернет.

Затем появилась технология VDSL, которая отличалась от других симметричных технологий DSL высокой скоростью. Основная область применения VDSL — доставка трафика от оптоволоконных окончаний до абонентов внутри зданий.

Таблица 1

Технологии xDSL	Максимальная скорость (прием/передача)	Максимальное расстояние доступа, км	Основное применение
VDSL	65 Мбит/с/ 35 Мбит/с	1,5; на максимальной скорости	Объединение сетей, HDTV
ADSL	24 Мбит/с/ 3,5 Мбит/с	5,5	Доступ в Интернет, голос, видео, HDTV
SHDSL	2,32 Мбит/с	7,5	Объединение сетей
HDSL	2 Мбит/с	4,5	Объединение сетей, услуги E1
SDSL	2 Мбит/с	3	Объединение сетей, услуги E1
UADSL	1,5 Мбит/с/ 384 кбит/с	3,5; на максимальной скорости	Доступ в Интернет, голос, видео

Полоса частот, в которой находится линейный сигнал DSL, практически освобождает низкочастотный диапазон 0,3—3,4 кГц для традиционной аналоговой телефонии. Верхняя частота линейного спектра DSL-технологий составляет единицы мегагерц.

Еще один способ организации проводного ШПД — использование сети электропитания в технологии PLC (Power Line Communication). Электросети доходят практически до каждого помещения, их инфраструктура — одна из самых развитых. Линии электропередач отличаются высоким уровнем шумов, быстрым затуханием высокочастотного сигнала, нестабильностью характеристик линий связи. Параметры таких линий связи (затухание сигнала, частотные и фазовые искажения и т. д.) меняются во времени в зависимости от уровня текущего энергопотребления. Высокий уровень помех и нестабильность накладывают серьезные ограничения на дальность связи (несколько сотен метров) и скорость передачи информации. Однако появление мощных цифровых процессоров обработки сигналов (Digital Signal Processor, DSP) дало возможность реализовать более сложные способы модуляции сигнала, такие как OFDM. Сейчас в технологии PLC используются 84 поднесущие частоты в диапазоне 4—21 МГц. Разновидность PLC — технология PowerPacket — положена в основу единого стандарта HomePlug1.0, в котором определена скорость

передачи данных до 14 Мбит/с. Основное применение технологии PLC — доступ в Интернет, малый офис (SOHO) и «умный дом».

Возможность использования инфраструктуры кабельного телевидения предоставляет технология передачи данных по коаксиальному кабелю DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications). Она предусматривает передачу данных абоненту с максимальной скоростью до 42 Мбит/с (при ширине полосы пропускания 6 МГц и использовании КАМ-256) и получение данных от абонента со скоростью до 10,24 Мбит/с. Технология совершенствовалась, и появилось несколько версий спецификации DOCSIS, отличающихся не только скоростью передачи данных «сверху вниз» (максимальная скорость до нескольких сотен мегабит в секунду) и «снизу вверх» (до 120 Мбит/с), но и полосой частот.

Уникальной по скорости доступа является технология FTТх (Fiber to the x) — оптическое волокно до точки «х». Она может иметь различную архитектуру в зависимости от того, до какого места доходит оптоволокно. Влияние относительно высокой стоимости инфраструктуры сети сказалось в том, что первыми появились разновидности FTТN (Fiber to the Node) — волокно до сетевого узла и FTТC (Fiber to the Curb) — волокно до микрорайона. Чем выше скорость доступа и чем больше набор услуг, тем ближе к терминалу должна подходить «оптика»: так возникли технологии FTТВ (Fiber to the Building — волокно до здания) и FTТH (Fiber to the Home — волокно до квартиры). Следовательно, самая перспективная — FTТH, обеспечивающая наибольшую полосу пропускания, массовое обслуживание абонентов на расстоянии до 20 км от узла связи, скорость доступа для абонента до нескольких гигабит в секунду, что вполне приемлемо на ближайшую перспективу. Для предоставления мультисервисных услуг FTТх хорошо сочетается с xDSL.

Разновидностью FTТх является технология пассивных оптических сетей (Passive Optical Network, PON). Основанная на древовидной волоконно-кабельной архитектуре с пассивными оптическими разветвителями на узлах, она обеспечивает экономичный способ ШПД. Основные преимущества PON — использование лишь одного приемопередающего модуля для передачи информации множеству абонентских устройств и приема информации от них; частотное разделение потоков (по длине волны: нисходящий поток 1550 нм, восходящий — 1310 нм); множественный доступ с временным разделением (TDMA). В настоящее время используются четыре основные топологии построения оптических сетей доступа: кольцо, точка-точка, дерево с активными узлами и дерево с пассивными узлами.

По числу абонентов, использующих проводной ШПД, первое место в мире сейчас занимают технологии xDSL, второе — DOCSIS и третье — оптоволокно (FTТх). Однако в перспективе, как показывает динамика их развития, лидерство перехватит FTТх.

Беспроводной широкополосный доступ (БШПД) обеспечивает доступ пользователей к мультисервисным сетям в любом месте. Кроме того, беспроводная «последняя миля», в отличие от проводных технологий ШПД, может быть развернута за короткий срок, требует значительно меньших капитальных затрат на построение и прекрасно подходит для регионов, где внедрение проводных широкополосных сетей доступа экономически нецелесообразно или невозможно. Другие сферы применения БШПД: подключение удаленных узлов операторов связи, высокоско-

ростная передача данных для мобильных пользователей, создание резервных каналов, организация инфраструктуры при чрезвычайных ситуациях и для временного использования.

Особенности распространения радиоволн не позволяют создать универсальную технологию БШПД, которая удовлетворяла бы всем требованиям, таким, например, как обеспечение передачи на дальние и короткие расстояния, в любой местности. Поэтому для систем БШПД различают три уровня охвата пользователей:

- персональный уровень (Personal Area) доступа имеет самый малый радиус действия — до нескольких десятков метров. Он служит для образования так называемого беспроводного информационного соединения между близко расположенными оборудованием и абонентом. Это персональные локальные сети WPAN;

- местный, или локальный, уровень (Local Area) охватывает в основном компьютерные сети, от домашних до корпоративных, оборудование которых сосредоточено в определенной локации одного здания или ряда зданий и окружающей их местности. Это локальные сети WLAN;

- городской уровень (Metropolitan Area) охватывает покрытие радиосистемой некоей местности, которая может быть городом или его частью, кампусом, промышленным центром и даже административным районом. Это зонные сети WMAN.

Самым успешным примером сетей WLAN является стандарт IEEE 802.11 (Wi-Fi), т.е. Wireless Fidelity — «беспроводная точность». Принципы этой технологии были разработаны еще в начале 90-х годов, однако первая версия стандарта появилась в 1997 г., после чего и сама технология Wi-Fi, и оборудование для нее стали стремительно развиваться. Изначально стандарт 802.11 был ориентирован на диапазон 2,400—2,4835 ГГц с шириной полосы 83,5 МГц. Скорости передачи информации устанавливались на уровне 1 и 2 Мбит/с. Но уже в сентябре 1999 г. появляется дополнение к стандарту IEEE 802.11 — спецификация IEEE 802.11b, предусматривающая работу в диапазоне 2,4 ГГц только методом прямого расширения спектра со скоростями передачи информации до 5,5—11 Мбит/с. Вскоре выходит спецификация IEEE 802.11a, ориентированная на работу в диапазоне 5 ГГц со скоростями передачи до 54 Мбит/с. А в 2003 г. утверждена спецификация IEEE 802.11g (диапазон 2,4 ГГц, скорость передачи до 54 Мбит/с).

При разработке стандарта 802.11g рассматривалось несколько конкурирующих технологий: метод ортогонального частотного разделения (OFDM) и метод двоичного пакетного сверточного кодирования (PBCC), реализованный в качестве дополнительного в стандарте 802.11b. В результате для стандарта 802.11g было принято компромиссное решение: технологии OFDM и прямого расширения спектра — базовые, а PBCC — дополнительные. Если удастся решить проблемы защиты информации и качества сервиса (протоколы безопасности и Quality of Service (QoS) — 802.11e, 802.11i, 802.11h и т.д.), Wi-Fi может стать универсальной платформой для беспроводных услуг и мобильной связи.

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) — технология беспроводной связи на частотах 1880—1900 МГц — появилась в 1992 г. Стандарт был задуман для телефонии, однако благодаря своей технологичности (микросотовая архитектура) сразу стал использоваться для передачи данных. DECT относится к системам пакетной радиосвязи с частотно-временным разделением

каналов (информация передается по радиоканалу в виде пакетов, организованных в кадры) и основана на технологиях FDMA (Frequency Division Multiple Access — множественный доступ с частотным мультиплексированием) и TDD (Time Division Duplex — дуплексный канал с временным разделением). Ширина полосы канала — 1,728 МГц. Основными недостатками DECT являются небольшая дальность связи (из-за ограничения мощности самим стандартом) и недостаточная защищенность, что делает возможным дистанционное прослушивание переговоров.

Технология iBurst (HC-SDMA, High Capacity Spatial Division Multiple Access) была создана в 2005 г. для фиксированных, портативных и мобильных абонентов. Стандарт IEEE 802.20 предусматривает реализацию «умных» антенных систем для более эффективного использования радиочастотного спектра. Интерфейс HC-SDMA, работающий аналогично GSM и CDMA2000 для мобильных телефонов, поддерживает роуминг между базовыми станциями (БС), обеспечивая таким образом бесшовное покрытие сети передачи данных для мобильных абонентов. Внедренные в данный момент системы iBurst позволяют передавать данные со скоростью до 1 Мбит/с для каждого абонента. В будущих версиях ожидается увеличение скорости до 5 Мбит/с.

Наиболее успешной разработкой сетей WMAN стала технология WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access — всемирное взаимодействие сетей для беспроводного доступа в микроволновом диапазоне). Она разработана в 2001 г. с целью предоставления универсальной беспроводной связи на большие расстояния для широкого спектра устройств — от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов. Таким образом, точки доступа могут быть не привязаны к положению на местности. Теоретически дальность связи WiMAX может достигать 30 км. Линейку стандартов 802.16 (WiMAX) можно отнести к беспроводным сетям доступа операторского класса. Стандарт 802.16a, принятый в 2003 г., задумывался как альтернатива таким технологиям вторичных сетей, как DSL, Ethernet, HPNA и т. п. Эта спецификация является расширением базового стандарта 802.16 и предусматривает работу в диапазоне 2—11 ГГц, а также возможность применения технологии OFDM. В 2004 г. была разработана версия фиксированного WiMAX (802.16d), а в 2005 г. — мобильного WiMAX (802.16e, скорость абонентов до 120 км/ч).

Конкурентами мобильной технологии WiMAX являются мобильные технологии 3G. Для соединения базовой станции с абонентской используется сверхвысоко-частотный диапазон радиоволн: от 1,5 до 11 ГГц. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с. Между БС устанавливаются соедине-

ния (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может достигать 140 Мбит/с. При этом по крайней мере одна БС подключается к сети с использованием классических проводных соединений. Стандарт предусматривает начальную и периодическую частотно-временную синхронизацию по сигналу БС, регулировку мощности абонентской станции, периодические изменения уровня принимаемого сигнала и отношения сигнал/шум, необходимые для адаптивного кодирования и модуляции. Архитектура сетей WiMAX не привязана к какой-либо определенной конфигурации, обладает высокой гибкостью и масштабируемостью. Другим преимуществом WiMAX является использование соединения между БС и пользователем на основе алгоритма планирования, который гарантирует параметр QoS для каждого соединения.

В табл. 2 представлены скорости передачи, тип кодирования и модуляции основных стандартов IEEE 802.

В конце прошлого века появилась возможность создания конкурента WiMAX — технологии HSPA (High Speed Packet Access — высокоскоростная пакетная передача данных), являющейся надстройкой к мобильным сетям WCDMA/UMTS. Однако в сетях стандарта UMTS внедрение HSPA произошло лишь в 2006 г. HSPA базируется на двух предшествующих стандартах: HSDPA (передача к абоненту — downlink) и HSUPA (uplink — передача от абонента). Максимальная теоретическая скорость передачи данных по стандарту — 14,4 Мбит/с (скорость передачи данных от БС до всех локальных абонентов) и около 5,8 Мбит/с от абонента. На первых стадиях внедрения стандарт обычно демонстрирует скорость 3,6 Мбит/с к абоненту, хотя рассматривается специалистами как один из переходных к технологиям мобильной связи 4G со скоростью более 6 Мбит/с (3,5G). Несомненным достоинством HSPA является то, что дальность связи практически равна дальности охвата сигналом БС. HSDPA, являясь развитием WCDMA, приближается к порогу спектральной эффективности, чего нет в технологии WiMAX. В то же время в WiMAX предусмотрена поддержка современных криптографических алгоритмов, а в HSPA этого нет, т. е. информация защищена в меньшей степени.

Мобильной технологией передачи данных дня сегодняшнего является LTE (Long Term Evolution). Первая сеть LTE была запущена в коммерческую эксплуатацию в конце 2009 г. в Швеции, но работу над этим стандартом 4-го поколения организация 3GPP начала еще в 2004 г. LTE представляет собой стандарт, направленный на совершенствование технологий CDMA/UMTS для удовлетворения будущих потребностей пользователей в скорости передачи данных, повышении эффективности и безопасности, сни-

Таблица 2

Технология; стандарт	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи данных, Мбит/с	Сеть использования	Метод модуляции	Дальность действия, км
Wi-Fi; 802.11g	5,0	54	WLAN	DBPSK DQPSK QAM — 16, 64	0,1
Bluetooth; 802.15.3	2,4	55	WPAN	OQPSK	0,1
WiMAX: 802.16d 802.16e	1,5—11 10—66	75	WMAN	BPSK, QPSK, QAM — 16, 64	6—10
WiMAX, 802.16e	2,3—13,6	40	Mobile WMAN	BPSK, QPSK, QAM — 16, 64	1—5

жении издержек, расширении спектра уже оказываемых услуг мультисервисных сетей, а также интеграции с существующими протоколами.

Скорость передачи данных по стандарту LTE теоретически достигает 326,4 Мбит/с на прием (download) и 172,8 Мбит/с на передачу (upload), в международном же стандарте прописано 173 Мбит/с на прием и 58 Мбит/с — вверх. Радиус действия БС LTE зависит от мощности и используемых частот: оптимально это порядка 5 км, но при необходимости возможно 30 или даже 100 км (при увеличении высоты антенны). Сеанс передачи данных, инициированный в зоне покрытия LTE, технически может быть проведен без разрыва в сеть 3G (WCDMA, CDMA2000). Достоинством LTE является то, что, в отличие от WiMAX, ее внедрение возможно на уже существующей инфраструктуре операторов как GSM (в России — операторы «большой тройки»), так и CDMA («Скай Линк», «БайкалВестКом»), что заметно снижает стоимость развертывания сети. Таким образом, эволюция технологий передачи данных в сотовых системах связи от стандарта NMT (1G — 1981 г.) к LTE (4G — 2009 г.) привела к увеличению скорости передачи информации в 272 тыс. раз! За 30 лет был пройден путь от аналоговых до широкополосных цифровых технологий передачи данных.

Сверхширокополосный доступ (UltraWide Band, UWB). Направление развития новых технологий доступа, если проследить историю сетей связи, легко определить: это увеличение скорости доступа, которое позволит не просто быстро получать информацию, а выйти на качественно иной уровень взаимодействия с мультисервисными сетями. При условии, что сигнал должен иметь гармоническую несущую, проблема выбора технологии сводится к поиску оптимального метода модуляции несущей. Таковы традиционные механизмы реализации сверхширокополосного доступа.

Наиболее отработаны в настоящее время технологии UWB, основанные на использовании MultiBand OFDM. Их суть в том, что OFDM-модуляция сигнала производится в полосе 500 МГц и более, а затем с помощью аналогового преобразования переносится на центральную частоту того поддиапазона, в котором в данный момент ведется передача. Для увеличения помехоустойчивости и скорости передачи информации здесь можно использовать сверточное кодирование сигнала и квадратурную манипуляцию поднесущих. У технологии много достоинств. Это, во-первых, присущая OFDM-системам устойчивость к многолучевому распространению, а значит, отсутствие острой необходимости в дополнительных входных цепях типа Rake receiver. Во-вторых, требуемая точность синхронизации приемного и передающего устройств ниже, чем для других UWB-технологий, что существенно сказывается на сложности входного тракта и времени синхронизации. В-третьих, ортогональное частотное мультиплексирование позволяет увеличить гибкость спектральной приспособляемости доступа за счет включения/выключения отдельных поднесущих.

К недостаткам данного подхода следует отнести необходимость высоких вычислительных ресурсов для осуществления быстрого преобразования Фурье, относительную сложность модемов и довольно высокое отношение пико-

вой мощности к средней излучаемой мощности в OFDM-символе.

Тем не менее, как показывают оценки, такая система обеспечивает большую скорость доступа по сравнению с подходом прямого расширения спектра при той же используемой полосе и более устойчива в многолучевой среде. В 2003 г. ряд компаний внесли свои предложения, основанные на OFDM-подходе, в результате чего был разработан стандарт 802.15.4a (WPAN).

Существующие технологии UWB, как и технологии ШПД, традиционно используют стационарные сигналы, т. е. вынужденные колебания линий связи. При отказе от постулата гармонической несущей возникает возможность применения различных сверхширокополосных нестационарных сигналов, когда форма их элементов определяется свободными колебаниями линии связи. Использование несинусоидальной (широкополосной) несущей (последовательность ультракоротких импульсов, различные псевдослучайные последовательности либо шумовая несущая и др.) представляет собой только зарождающееся направление UWB-технологий. Расчеты показывают, что такой подход позволяет реализовать максимально возможную скорость доступа. Эти технологии — примеры сверхширокополосных технологий доступа далекого будущего. Их особенность в принципиальном отсутствии частотного разделения, поскольку одна технология доступа будет использовать весь диапазон частот физической линии связи, не создавая помех другим системам. При этом легко осуществляется кодовое разделение каналов — аналогично тому, как в 3G. В этих случаях цифровые сверхширокополосные несущие, в отличие от импульсных, позволяют решить «проблему энергии» излучаемого сигнала, т. е. минимизировать амплитуду элемента сигнала. Использование сверхширокополосных нестационарных сигналов как результат развития технологий широкополосного доступа за весь предшествующий период позволяет конструктивно решить проблему одновременного увеличения скорости передачи информации, количества каналов и помехозащищенности доступа.

Заключение. Движущей силой развития мировой инфокоммуникационной индустрии является потребность человека в персонализированных мультисервисных услугах в любое время и в любом месте. Это основополагающий фактор для становления информационного общества. В планах Еврокомиссии на ближайшее время — довести покрытие услугами ШПД до 90% территории континента и вдвое уменьшить цифровой разрыв между странами. Первой и пока единственной технологией мобильного ШПД, отвечающей этим требованиям, является технология LTE, где скорость доступа (более 100 Мбит/с) сочетается с приемлемыми экономическими, техническими и функциональными свойствами.

Однако у ученых уже есть наработки по предоставлению доступа со скоростями, соответствующими скоростям существующих транспортных сетей передачи информации. Это позволит отрасли связи оставаться динамичной и эффективной как в собственных границах, так и на пути формирования информационной экономики.