

Сравнительный анализ технологий мобильной связи

Передача информации по радио имеет очень давнюю историю — начало было положено еще в XIX в. Особенно интенсивно эта технология прогрессирует последние 30 лет. В статье рассматривается поэтапное развитие сетей сотовой связи.

Можайков Денис
dm@euroml.ru

Дронский Сергей

1G

Системы первого поколения (1G, 1981 г.) были аналоговыми, реализованными на достаточно надежных сетях, но с ограниченной возможностью предложения услуг абонентам. Кроме того, они не позволяли осуществлять роуминг между сетями, т. е. абоненты с одной SIM-картой не могли получать услуги в сетях разных операторов. К системам первого поколения относятся: AMPS и NMT, которые были позднее практически полностью вытеснены стандартом GSM. Минусы — отсутствие безопасности (канал легко прослушивался), трудности с роумингом, малая емкость, большая дальность действия (около 30 км), что в условиях мегаполиса является недостатком, затрудняющим переиспользование частот.

2G

Системы мобильной связи второго поколения (2G, 1991 г.) являются цифровыми. Они привнесли существенные преимущества с точки зрения предложения абонентам усовершенствованных услуг, повышения емкости и качества. Наиболее распространенным стандартом этого поколения является GSM (изначально Groupe Spécial Mobile, позже переименована в Global System for Mobile Communications — «глобальная система мобильной связи»). Возросшая потребность в беспроводном доступе в Интернет привела к дальнейшему развитию системы 2G. Так появилась система, называемая 2.5G (2000 г.). Примером технологии 2.5G является GPRS (General Packet Radio Services — «пакетная радиосвязь общего пользования») — стандартизованная технология пакетной передачи данных, позволяющая использовать оконечное устройство мобильной связи для доступа в Интернет. Позже была внедрена технология EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), что позволило повысить скорость передачи данных до сотен килобит в секунду. Другим появившимся в данном стандарте сервисом является SMS (услуги службы коротких сообщений).

Стандарты 2G на протяжении многих лет были основными при построении систем

мобильной связи. Именно GSM дала большой толчок к появлению сетей сотовой связи по всему миру. Однако со временем набор услуг, которые могли предложить стандарты 2G, оказался недостаточным. Кроме того, применяющиеся в данном стандарте технологии передачи данных перестали удовлетворять пользователей сети по скорости.

3G

Перечисленные выше факторы привели к появлению систем третьего поколения (3G, 1999 г.), которые позволяют осуществлять связь, обмен информацией и предоставлять различные развлекательные услуги, ориентированные на беспроводное оконечное устройство (терминал). Развитие подобных услуг началось уже для систем 2G, но для поддержки этих услуг система должна располагать высокой емкостью и пропускной способностью радиоканалов, а также совместимостью между системами, чтобы предоставлять прозрачный доступ по всему миру.

Примером системы 3G является UMTS (Universal Mobile Telecommunications System — «универсальная система мобильной связи»). Данный стандарт позволяет предоставить абонентам скорости передачи данных до 2 Мбит/с. Технология HSDPA (3.5G) дает скорость уже до 14 Мбит/с. Таким образом, пользователи сети могут получать широкий перечень мультимедийных услуг (высококачественное видео, игры, загрузка файлов больших объемов). Однако даже такая скорость передачи данных будет удовлетворять потребности пользователя сети лишь до определенных пределов. В связи с этим началась разработка стандарта четвертого поколения, который позволит снять верхний предел на долгое время.

На рис. 1 показаны максимальные скорости для разных технологий сотовой связи GSM.

Таким образом, менее чем за 30 лет технологии сотовой связи прошли огромный путь. Теперь абонент уже не ощущает географической привязанности и может пользоваться высококачественными телекоммуникационными

услугами, где бы он ни находился. Произошло изменение основной идеи, состоялся поворот от сетей для передачи голоса к сетям для передачи данных, а передача голоса стала всего лишь одним из сервисов сети передачи данных.

Уже в ближайшие пять лет реализация концепции «Интернета сервисов» может превратить рынок сервисов M2M (Machine-to-Machine, межмашинное взаимодействие) из второстепенного для операторов связи в ключевой, каким для них сейчас является рынок голосовых услуг.

Рынок M2M сегодня

Под рынком M2M в настоящее время понимается преимущественно рынок беспроводных мобильных устройств, оснащенных SIM-картами и предназначенных для передачи телеметрической информации без участия человека.

Согласно оценкам компании Berg Insight, в 2014 г. число беспроводных M2M-подключений в мире превысило 200 млн. Цифра весьма скромная по сравнению с общим количеством подключенных абонентских устройств. Российский рынок беспроводных M2M-подключений насчитывает, по данным МТС, около 6 млн SIM-карт, из которых более 60% установлено на транспортных средствах для контроля их местоположения, учета расхода топлива, реализации услуг «умного страхования» и т. п.

Ключевыми проблемами, сдерживающими продвижение услуг M2M на рынке России, бизнес-потребители считают их высокую стоимость, низкую скорость соединения и нестабильность соединения. Эти факторы в качестве определяющих при принятии решения о подключении к услуге называют соответственно 59, 45 и 20% пользователей услуг M2M (данные J'son & Partners Consulting).

M2M и IoT — в чем разница?

Все прогнозы о «взрывном» росте количества M2M-подключений основываются на новой концепции M2M — «Интернете вещей» (Internet of Things, IoT), являющейся частью более общей концепции «Интернета сервисов» (Internet of Services, IoS). Понятие «M2M-устройство» охватывает как традиционные проприетарные средства телеметрии и телеуправления (к которым можно отнести подавляющее большинство используемых сейчас устройств M2M, включая сетезависимые беспроводные), так и независимые от сетей и приложений устройства IoT. А устройства «Интернета вещей» — это только устройства, имеющие возможность через свободное IP-подключение (на физическом уровне, как правило, Wi-Fi) взаимодействовать с различными системами телеметрии и телеуправления, реализованными как облачные и/или онлайн-сервисы. То есть «Интернет вещей» — это облачные телеметрия и телеуправление.

Облачные системы способны обеспечить сколь угодно детализированное оптимизационное управление сколь угодно широкой номенклатурой объектов управления, причем не только объектами в целом («умный дом», «умный автомобиль» и т. п.) и их системами (энергоснабжения, освещения, кондиционирования и т. д.), но и отдельными элементами

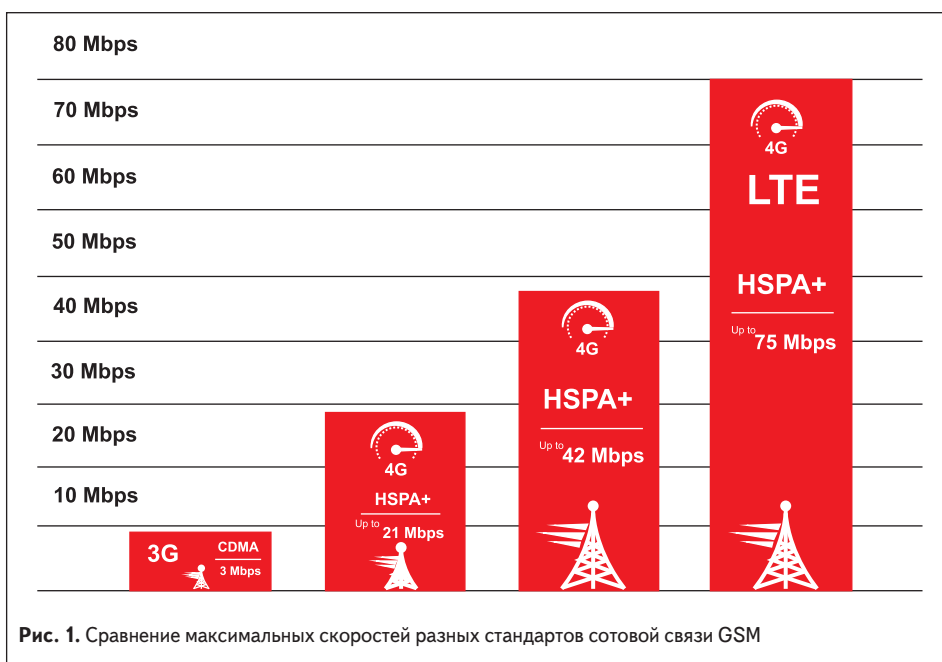


Рис. 1. Сравнение максимальных скоростей разных стандартов сотовой связи GSM

этих систем, вплоть до отдельной лампочки в системе освещения. Эта особенность является причиной большого разброса в прогнозных оценках количества таких устройств: количество «умных лампочек» и других компонентов управляемых объектов действительно может достигать десятков и сотен миллиардов (в некоторых прогнозах — триллионов).

Требования IoT-устройств к сетям связи

Для реализации концепции «Интернета сервисов» необходима унификация всего разнообразия сетей доступа и домашних/локальных сетей на базе стека протоколов IP и переход абонентов от использования проприетарных абонентских устройств, сенсоров и контроллеров к выполненным в идеологии «Интернета

вещей» сенсорам и исполнительным устройствам со свободным сетевым доступом к ним.

Для оператора связи основные отличия устройств IoT от умных абонентских устройств состоят в потенциально существенно большем количестве первых, на порядки меньшем объеме трафика в расчете на одно устройство, но при этом в более высоких требованиях к качественным характеристикам. В число таких характеристик входят: доступность канала, задержка сигнала в канале, уровень информационной безопасности, необходимая мощность излучения (соответственно, длительность автономной работы устройств). Для телеметрических IoT-устройств больший вес имеют качественные (доступность, безопасность), а не количественные (емкость) характеристики канала. На рис. 2 показаны области требований различных сервисов к сетям

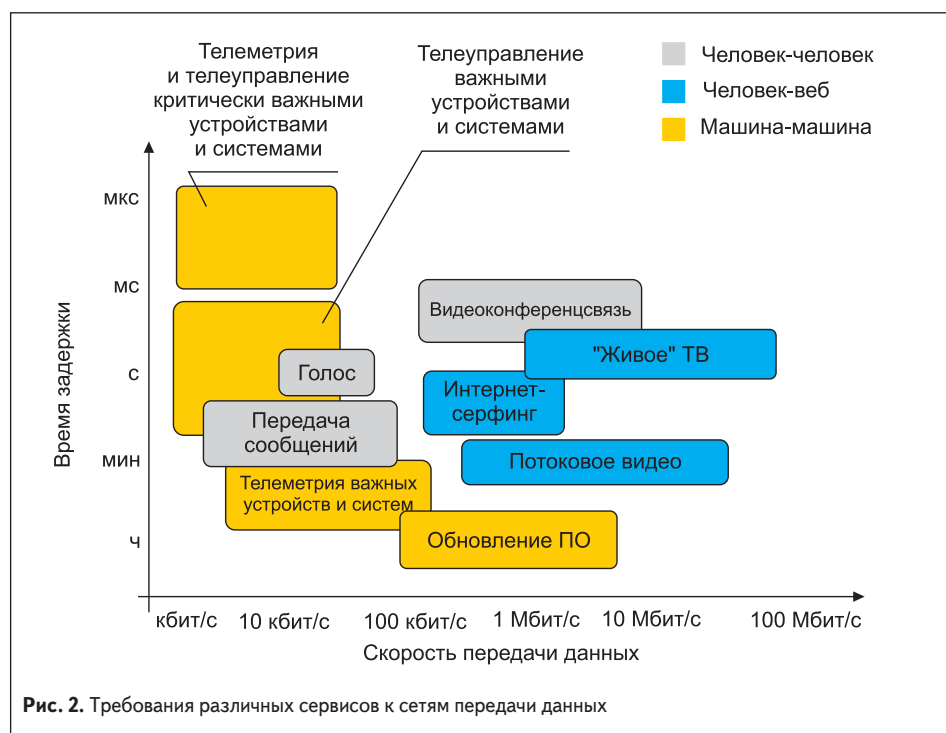


Рис. 2. Требования различных сервисов к сетям передачи данных

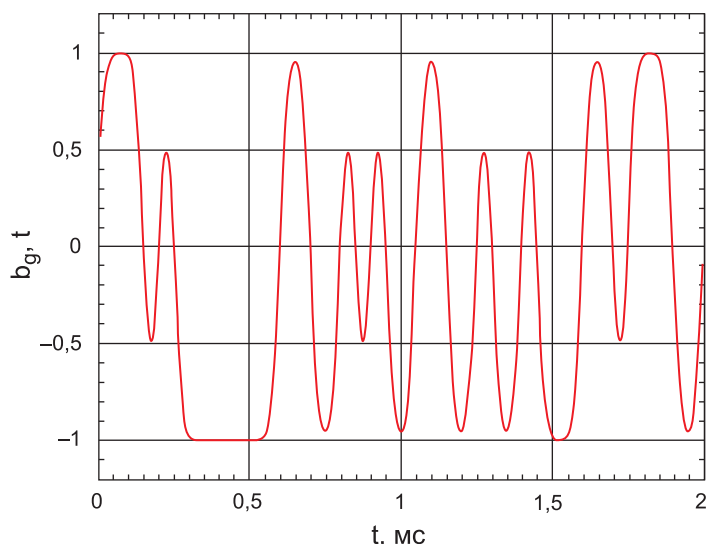


Рис. 3. Типичный сигнал с многоуровневой и многофазной модуляцией

передачи данных. Так, для критичных сервисов телеметрии и телеуправления доступность канала связи с сенсорами и исполнительными устройствами должна достигать 99,999%.

Краткое описание различных технологий передачи данных в сотовой связи GSM, применяемых в M2M в настоящее время

CSD и HSCSD

Изначально сети стандарта GSM предусматривали пакетную передачу данных по коммутируемым соединениям. Этот сервис назывался CSD (Circuit Switched Data). Максимально возможная скорость передачи данных для CSD составляла не более 9,6 кбит/с. Такой скорости было достаточно для реализации услуги передачи факсов (низкого разрешения) и небольших объемов данных.

С ростом интереса к услуге передачи данных через сотовые системы связи технология CSD была усовершенствована, и в сетях сотовой связи началось применение технологии HSCSD (High Speed Circuit Switch Data — «высокоскоростная передача данных по коммутируемым соединениям»). Максимальная скорость передачи данных была увеличена до 57,6 кбит/с. Это позволяло передавать файлы больших размеров (сотни килобайт) и факсы высокого разрешения.

В сервисах CSD и HSCSD тарификация осуществлялась по времени, затраченному на передачу данных. Стоимость трафика была велика и равнялась стоимости голосового трафика. Таким образом, эта технология практического интереса не представляла.

Технология передачи данных по коммутируемым соединениям имеет существенный недостаток: необходимость устанавливать соединение на все время сессии абонента, при этом использование канала составляет менее 50%. Таким образом, сервисы CSD и HSCSD не позволяют эффективно использовать ценные радиоресурсы.

Решением этой проблемы стал пакетный способ передачи данных. При этом для всех абонентов, которым необходима услуга передачи данных, предоставляется общий ресурс в соте, который используется ими по необходимости и именно тогда, когда они передают данные, а в моменты простоя этот ресурс используется другими абонентами. Этот способ распределения ресурсов гораздо экономнее, но возможны коллизии, когда все ресурсы канала заняты и для получения услуги надо подождать. Для подавляющего большинства M2M/IoT-устройств задержка не является критичной.

GPRS

Первой технологией передачи данных в системах сотовой связи с пакетной коммутацией стала GPRS. Эта технология позволяет достигать скорости передачи данных до 171 кбит/с, чего уже достаточно для просмотра средних интернет-страниц и обмена небольшими файлами (сотни килобайт–мегабайт) в сети. Технология GPRS создала мощную основу и дала большой толчок для развития технологий передачи данных в сетях сотовой связи. Элементы, появившиеся для GPRS, продолжают использоваться и для технологии EDGE, и для сетей 3G, а общие принципы перенесены даже на сети четвертого поколения. Таким образом, технология GPRS стоит в самом начале длинной цепочки технологий пакетной передачи данных. Характерной

Таблица 1. Сравнительные характеристики скорости передачи данных для различных технологий сотовой связи

Стандарт сети	Технология	Модуляция	Скорость передачи данных (макс.) к абоненту/от абонента	Полоса сигнала, МГц
GSM	GPRS	GMSK	20/20 кбит/с	0,2
	EDGE	8PSK	59,2/59,2 кбит/с	0,2
UMTS	R99 WCDMA	QPSK	384/384 кбит/с	5
	HSDPA	16QAM/QPSK	14,4/5,76 Мбит/с	5
	HSPA+	64QAM/16QAM	21/11,5 Мбит/с	5
	DC HSPA+	64QAM/16QAM	42/23 Мбит/с	10
LTE	MIMO 2×2	64QAM	150/75 Мбит/с	20

особенностью является задержка в единицы секунд между посылкой запроса на сайт и получением ответа.

EDGE

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution — «технология передачи данных сетей стандарта GSM») стала развитием GPRS. GPRS поддерживает максимальные скорости передачи данных до 171 Кбит/с. В действительности GPRS предоставляет скорости передачи данных около 50–60 Кбит/с и задержкой около 150 мс. EDGE поддерживает скорость передачи данных до 384 Кбит/с. Дабы подчеркнуть то, что различия между системами EDGE и GPRS незначительны, эту технологию еще называют EGPRS (Enhanced GPRS — улучшенный, расширенный GPRS). Улучшения достигнуты благодаря использованию нового способа (8-PSK) модуляции сигнала на радиointерфейсе между мобильной (МС) и базовой (БС) станциями. При такой модуляции с помощью одного элемента сигнала в радиоэфире передается не один, как это было в GPRS, а сразу три информационных бита. Благодаря этому более эффективно используются имеющиеся радиоресурсы — наиболее ценные из всех ресурсов в системе сотовой связи. Таким образом, технология EDGE позволяет без особых временных и финансовых затрат значительно улучшить качество предоставляемых услуг, что делает эту технологию особо привлекательной. Это подтверждает тот факт, что более 90% всех операторов, которые эксплуатируют сети стандарта GSM, предоставляют услугу доступа в Интернет по технологии EDGE.

3G

Технология UMTS была разработана для модернизации сетей GSM (европейского стандарта сотовой связи второго поколения) и получила широкое распространение не только в Европе, но и во многих других регионах мира.

Переход к 3G — это расширение полосы сигнала и усложнение модуляции, применение многофазного и многоуровневого способа кодирования, что позволило значительно увеличить скорости передачи данных. На рис. 3 показан внешний вид типичного сигнала с многоуровневой и многофазной модуляцией. Такой вид кодирования позволяет за один такт передавать до 64 бит информации.

Расширение полосы позволяет увеличить количество передаваемой информации в соответствии с теоремой Шеннона — Хартли (рис. 4).

Рассматривая все возможные многоуровневые и многофазные методы шифрования, теорема Шеннона — Хартли утверждает, что пропускная способность канала C , означающая теоретическую верхнюю границу скорости передачи данных, которые можно передать с данной средней мощностью сигнала S через аналоговый канал связи, подверженный аддитивному белому гауссовскому шуму мощности N , равна:

$$C = B \log_2(1+S/N),$$

где

- C — пропускная способность канала, бит/с;
- B — полоса пропускания канала, Гц;
- S — полная мощность сигнала над полосой пропускания, Вт или B^2 ;
- N — полная шумовая мощность над полосой пропускания, Вт или B^2 ;
- S/N — частное от деления отношение сигнала к его шуму (SNR) на гауссовский шум, выраженное как отношение мощностей.

Рис. 4. Теорема Шеннона — Хартли

В таблице 1 показаны сравнительные характеристики скорости передачи данных для различных технологий сотовой связи.

Так, при переходе от 2G к 3G полоса сигнала увеличилась от 200 кГц до 10 МГц, т. е. в 50 раз, что позволило увеличить пропускную способность канала в те же 50 раз. С учетом применения более эффективного кодирования ($64/8 = 8$ раз) прирост скорости составляет $50 \times 8 = 400$ раз, т. е. 60 кбит/с превращаются в примерно 21 Мбит/с.

Основные тенденции 3G-сетей:

- преобладание трафика data-cards (USB-модемы, ExpressCard/PCMCIA-карты для ноутбуков) над трафиком телефонов и смартфонов 3G;
- постоянное снижение цены 1 Мбайт трафика, обусловленное переходом операторов к более совершенным и эффективным технологиям.

LTE

Система LTE (Long Term Evolution, «долгосрочная эволюция») была разработана для того, чтобы предоставить пользователям доступ к всевозможным сервисам, а также к Интернету посредством протокола IP. Сеть LTE состоит из множества узлов. Все узлы сети принято делить на две категории: узлы, относящиеся к сети радиодоступа (Radio Access), и узлы опорной сети (Core Network). Ключевым элементом, определяющим эффективность любой радиосети, являются алгоритмы и механизмы, используемые для передачи данных между БС и МС. Далее рассматриваются основные характеристики сети LTE, относящиеся к сети радиодоступа.

Согласно требованиям к системе LTE, при радиусе соты до 5 км должны поддерживаться все параметры спектральной эффективности, пропускной способности и работы с мобильными абонентами. При радиусе соты от 5 до 30 км допускается ухудшение в показателях производительности.

Для обеспечения двунаправленной передачи данных между БС и МС технологией LTE поддерживается как частотный (FDD), так и временной дуплекс (TDD). Для частотного дуплекса определено 15 парных частотных диапазонов (частоты от 800 МГц до 3,5 ГГц), а для временного — восемь. При этом ширина радиоканала может быть различной. Допустимы следующие значения: 1,4/3/5/10/15/20 МГц.

В качестве систем множественного доступа в LTE используются OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) в нисходящем канале и SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) в восходящем. При использовании технологии OFDMA весь имеющийся спектр разбивается на поднесущие, ортогональные друг другу. В зависимости от используемой ширины канала общее количество поднесущих может быть 72, 180, 300, 600, 900 или 1200. Каждая из поднесущих может иметь свой вид модуляции. Могут использоваться следующие модуляции: QPSK, 16QAM, 64QAM.

Множественный доступ организуется за счет того, что одна часть поднесущих выделяется одному пользователю в кадре, другая часть — второму и т. д.

Стандартом LTE (а именно, 3GPP TS 36.306) всего определяется 15 (версия документа от 27.03.2015) категорий мобильных устройств. Категория мобильного устройства задает максимальные скорости передачи в DL и UL. В таблице 2 приводятся значения скоростей передачи, поддерживаемые конфигурации MIMO (Multiple Input Multiple Output) и типы модуляций для каждой категории.

Таблица 2. Значения скоростей передачи, поддерживаемые конфигурации MIMO и типы модуляций

UE категория	Downlink			Uplink	
	Макс. кол-во бит в TTI	Макс. кол-во бит в транспортном блоке	MIMO	Поддержка 64QAM	Макс. кол-во бит в транспортном блоке
0	1000	1000	-	-	1000
1	10296	10296	-	-	5160
2	51024	51024	2x2	-	25456
3	102048	75376	2x2	-	51024
4	150752	75376	2x2	-	51024
5	299552	149776	2x2, 4x4	+	75376
6	301504	149776 (4x4) 75376 (2x2)	2x2, 4x4	-	51024
7	301504	149776 (4x4) 75376 (2x2)	2x2, 4x4	-	102048
8	2998560	299856	8x8	+	1497760
9	452256	149776 (4x4) 75376 (2x2)	2x2, 4x4	-	51024
10	452256	149776 (4x4) 75376 (2x2)	2x2, 4x4	-	102048
11	603008	149776 (4x4, 64QAM) 195816 (4x4, 256QAM) 75376 (2x2, 64QAM) 97896 (2x2, 256QAM)	2x2, 4x4	-	51024
12	603008	149776 (4x4, 64QAM) 195816 (4x4, 256QAM) 75376 (2x2, 64QAM) 97896 (2x2, 256QAM)	2x2, 4x4	-	102048
13	391632	195816 (4x4) 97896 (2x2)	2x2, 4x4	+	150752
14	3916560	391656	8x8	+	1497760
15	749856-798800	149776 (4x4, 64QAM) 195816 (4x4, 256QAM) 75376 (2x2, 64QAM) 97896 (2x2, 256QAM)	2x2, 4x4	n/a	n/a
16	978960-1051360	149776 (4x4, 64QAM) 195816 (4x4, 256QAM) 97896 (2x2, 256QAM)	2x2, 4x4	n/a	n/a

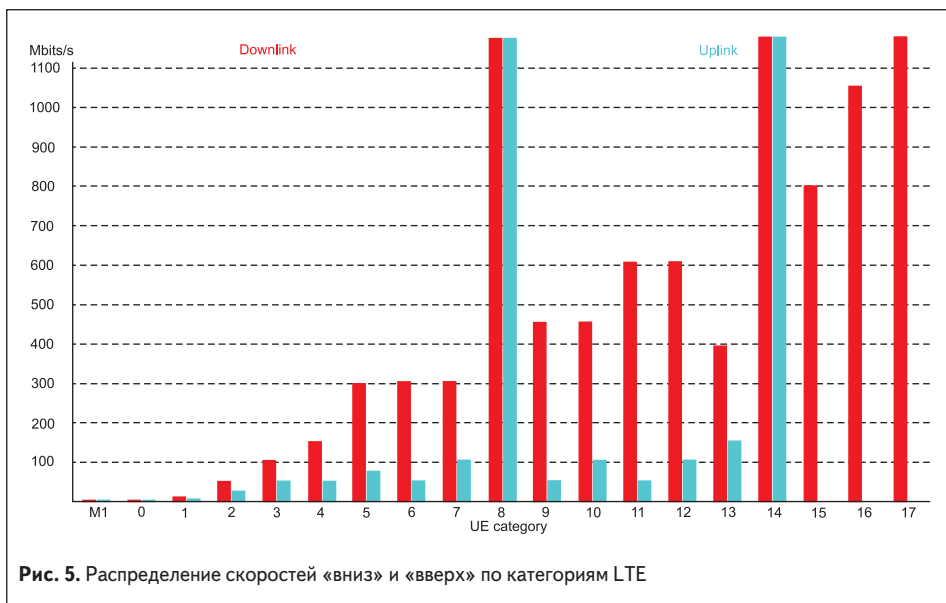


Рис. 5. Распределение скоростей «вниз» и «вверх» по категориям LTE

По приведенным выше значениям можно примерно рассчитать максимальную скорость передачи. В нисходящем канале значения максимальной скорости передачи в зависимости от категории мобильной станции будут следующие: 10, 50, 100, 150, 300, 300, 300 Мбит/с и 3 Гбит/с. Для восходящего канала получаются следующие значения: 5, 25, 50, 50, 75, 50, 100 Мбит/с и 1,5 Гбит/с. На рис. 5 приведено распределение скоростей «вниз» и «вверх» по категориям LTE.

Мобильные устройства всех категорий поддерживают работу с каналом шириной до 20 МГц (кроме категории 0) и модуляцию 64QAM (кроме категории 0) в нисходящем канале. Категория 0 вводится специально для MTC (Machine Type Communications). Одно из основных требований в рамках MTC — очень низкое энергопотребление. Отсюда и жесткие ограничения на поддерживаемый набор функций на физическом уровне и размер буфера.

Основной плюс технологии OFDMA заключается в том, что она позволяет бороться при приеме сигнала с негативными эффектами, вызванными многолучевым распространением. Однако этой технологии также присущи и некоторые недостатки. Основные из них состоят в том, что данная технология очень чувствительна к синхронизации по частоте. Сгенерированный OFDMA-сигнал обладает высоким PAPR (Peak to Average Ratio). Это, в свою очередь, сказывается на том, что используемый усилитель сигнала будет работать в нелинейных участках своей характеристики. Поэтому его эффективность будет низкой, что достаточно критично для устройств с ограниченным запасом энергии (мобильных терминалов). Из-за этого в восходящем канале LTE используется другая технология множественного доступа, а именно SC-FDMA. Отличие SC-FDMA от OFDMA заключается в том, что в SC-FDMA используется дополнительная обработка сигнала для снижения PAPR. В SC-FDMA в качестве такой дополнительной обработки сигнала используется преобразование Фурье. В восходящем канале могут использоваться различные виды модуляции: QPSK, 16QAM, 64QAM.

Стандарт LTE также поддерживает технологию передачи MIMO, которая позволяет существенно увеличить пиковую скорость передачи данных и значение спектральной эффективности. Суть технологии MIMO заключается в том, что при передаче и приеме данных используется несколько антенн с каждой стороны. Разные антенны могут передавать одни и те же данные, в этом случае повышается надежность передачи данных, но не скорость передачи. Также разные антенны могут передавать различные потоки данных, при этом увеличивается скорость передачи данных. Максимально в нисходящем канале технологией LTE поддерживается схема 4×4. Это означает, что на передающей и приемной стороне используется по четыре антенны. В этом случае скорость передачи данных может быть увеличена до четырех раз (в действительности чуть меньше из-за увеличения количества пилотных сигналов).

При использовании технологии MIMO и ширине канала 20 МГц максимальная скорость передачи данных может достигать 300 Мбит/с в нисходящем канале и 170 Мбит/с в восходящем.

В требованиях к LTE значения спектральной эффективности указаны как 5 бит/с/Гц для нисходящего канала и 2,5 бит/с/Гц для восходящего канала (что соответствует скоростям передачи данных в 100 Мбит/с и 50 Мбит/с). При этом высокие показатели производительности должны поддерживаться для мобильных пользователей, перемещающихся со скоростью до 120 км/ч.

LTE Cat.0, LTE Cat.1

Одно из основных требований к устройству M2M/IoT — низкое энергопотребление. Для реализации этого требования в стандарт LTE были включены требования к абонентским устройствам Cat.0, Cat.1 и LTE NB (Narrow Band).

Теоретически устройства IoT смогут работать в сетях LTE с поддержкой Cat.1 не менее 10 лет от одной батареи. Многие IoT-устройства будут работать без внешней подачи энергии, то есть

продолжительность их функционирования станет определяться именно показателями энергопотребления, массовая замена батареек не предусматривается. Экономия энергии обеспечивается поддержкой функционала Power Saving Mode. Устройство с таким функционалом находится, в основном, в спящем режиме и включается только тогда, когда это необходимо. Как ожидается, поддержка Power Saving Mode на стороне сетевого оборудования LTE будет стандартизована в 2016 г. В ноябре 2015 г. фирма Ericsson показала работу устройства Cat.1 на базе чипсета Altair FourGee-1160 на сети AT&T с использованием релиза 16A. Это очень перспективное направление, особенно учитывая то, что сети LTE возьмут на себя функции работы с многочисленными устройствами M2M, которые сейчас в большинстве своем работают через сети GSM.

NB-LTE

NB-LTE — узкополосный (Narrow Band) LTE для IoT-приложений — еще одно подмножество стандарта LTE, которое планируется закрепить в 3GPP LTE Rel.13 в начале 2016 г. NB-LTE предназначен для разнообразных IoT-применений, которые отличает низкое потребление трафика. NB-LTE, как ожидается, будут отличать еще более скромные потребности по части ресурсов, нежели LTE Cat.1, Cat.0 и LTE MTC.

Ожидаемая спецификация: 180 кГц — полоса частот для UL и DL (для LTE MTC — 1 МГц), в DL используется 15 кГц частот и модуляция OFDMA, 3,75 кГц — защитный интервал, в UL задействован FDMA или GMSK, как опция может быть SC-FDMA.

Ожидается улучшенное покрытие в помещениях, возможность обслужить множество устройств с низким потреблением трафика, особенно таких, которые не слишком чувствительны к задержкам. Узкополосность позволяет изготавливать недорогие чипсеты и устройства с очень низким энергопотреблением, что должно обеспечить длительную работу устройств от батарей питания (типа большого серебряно-цинкового элемента или щелочного элемента AAA), вплоть до года или более. Стандарт можно будет внедрить на обычных сетях LTE за счет выделения нескольких ресурсных блоков или за счет использования блоков в защитном диапазоне LTE. В принципе возможно и изолированное развертывание сети NB-LTE в выделенном для этого участке спектра.

Стандарту прочат широкое использование, так как, в отличие от различных аналогов, он поддерживается 3GPP. Есть, правда, опасение, что к моменту выхода конечной версии Rel.13 с NB-LTE не успеют, тогда он будет стандартизован в Rel.14. А вот LTE MTC войдет в Rel.13 почти со 100%-й вероятностью. Этот стандарт обеспечивает энергопотребление меньше, нежели Cat.0, а покрытие лучше, чем у Cat.0. Он проигрывает NB-LTE, но зато практически готов к включению в стандарт.

LTE-A (LTE Advanced)

Под LTE Advanced (LTE-A) на сегодня принято понимать набор технологий, стандартизованных в документе 3GPP Rel.10 и последующих

Таблица 3. Сравнение параметров типов связи

Тип связи	Доступность	Стоимость трафика	Энергоэффективность (допустим режим «сон»)	Скорость, латентность	Суммарный рейтинг
CSD	2 (везде, где есть сотовая связь)	0 (аналогично голосовому тарифу)	0	0	2
GPRS/EDGE	2	1	0	0	3
3G (UMTS)	1 (не везде, даже в Москве и области)	1	1	2	5
LTE (LTE Cat.0, Cat.1, NB)	0 (есть в некоторых местах страны)	2	2	2	6

Примечание: «0» — плохо, «1» — средне, «2» — хорошо

релизах. Ключевые функции — агрегация частот (CA), усовершенствованные техники работы с антеннами, доработанные MIMO для увеличения емкости и релейной передачи. Улучшения также включают оптимизацию работы гетерогенных сетей (на предмет наращивания емкости и улучшения управления интерференцией), SRVCC, eMBMS. В Rel.11 появилась также поддержка CoMP, eICIC. LTE-A на сегодня — основной тренд отрасли, практически каждый третий оператор сети LTE в мире инвестирует в испытания или занимается развертыванием поддержки данной технологии.

LTE-A, как ожидается, поможет справиться с активным ростом трафика беспроводных данных, а также будет способствовать повышению средних скоростей в беспроводных сетях. Это означает также лучшее покрытие, большую стабильность и быстроту сетей. Это означает комплексное улучшение параметров сети передачи данных, а не только увеличение скорости скачивания данных. LTE-A обеспечит для операторов возможность нарастить емкость их сетей, улучшить качество пользовательского опыта, улучшить возможности распределения сетевых ресурсов. Для этого используется целый набор различных

технологий, некоторые из которых не являются новыми, но ранее не использовались в единой системе связи.

Ожидается, что LTE-A позволит передавать данные с пиковыми скоростями до 1 Гбит/с по сравнению с 300 Мбит/с для LTE. Агрегация частот обеспечивает возможность предоставлять абонентам более высокие скорости, позволяя загружать данные с использованием одновременно нескольких полос частот. Абонентское устройство в режиме CA принимает и комбинирует одновременно несколько сигналов, например из двух несущих частот или даже из разных диапазонов частот. Комбинировать можно до пяти несущих шириной по 20 МГц каждая, собирая широкий канал для перекачки данных с полосой до 100 МГц. MIMO, как технология множественного ввода/вывода, может увеличивать суммарную скорость передачи данных за счет одновременной передачи сигнала с разделением потока данных между двумя или большим числом антенн. Это позволяет повысить спектральную эффективность передачи информации. Более того, возможно динамическое создание ориентированной на конкретное абонентское устройство синтезированной направленной антенны.

Relay Nodes — способ быстро нарастить покрытие сети в местности, где нет мощных каналов передачи цифровых данных. В этом случае радиоподсистема LTE-A сама выполняет функцию беспроводной опорной сети. Это также возможность размещать маломощные БС на краях соты, чтобы улучшить там покрытие и емкость.

Возможность применения различных технологий передачи данных в сотовой системе связи типа GSM применительно к M2M

Для M2M/IoT, как уже упоминалось ранее (рис. 2), характерны небольшие объемы данных, отсутствие требований к высокой скорости передачи, требование низкой латентности канала, высокой энергоэффективности (наличие режима «сна»). Из нетехнических требований желательны минимальная стоимость трафика, высокая доступность сети связи.

В таблице 3 приведено сравнение типов связи по нескольким параметрам применительно к потребностям M2M. В последней колонке таблицы приведен суммарный рейтинг по каждому типу связи.

Как можно видеть, наилучшим типом связи для систем M2M является LTE с его подмножествами Cat.0, Cat.1 и NB, специально предназначенными для дешевой энергоэффективной передачи небольших объемов данных. По данным операторов, на 2 марта 2016 г. сетями LTE (4G) охвачено более 50% населения в 83 регионах России. В среднем, в каждом регионе действует от двух до трех операторов LTE — то есть конкуренция существует, что позволяет надеяться на дальнейший рост качества услуги (охват, тарифы, опции). ■