4G — МАРКЕТИНГ ИЛИ РЕАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ?

ПАВЕЛ ЛОСКУТОВ, *p.loskutoff@inbox.ru*

В рекламных или в каких-то других целях любое усовершенствование технологии 3G часто называют «переходом на 4G». Разберемся, чем же на самом деле отличается уровень 3G от 4G, и какие технологии могут претендовать на соответствие последнему.

Согласно установленной Международным телекоммуникационным союзом ITU классификации, технологии, относящиеся к уровню IMT-Advanced (четвертое поколение, 4G), должны обеспечивать скорость передачи в 500 раз большую, чем существующие сети 3G.

В таблице 1 приведены различные беспроводные стандарты, отвечающие требованиям IMT-Advanced. Выделим характерные особенности. Во-первых, во всех стандартах используются одинаковые методы передачи сигнала (MIMO, сложные схемы модуляции и, за исключением HSPA+, OFDM). Во-вторых, все стандарты разработаны двумя комитетами: 3GPP и IEEE. Первый изначально занимается продвижением мобильных сетей в лицензируемом спектре, а IEEE пришел на этот рынок сравнительно недавно и работает над развитием сетей в нелицензируемой полосе частот. К настоящему моменту союз ITU официально признал соответствие уровню 4G технологий WirelessMAN-Advanced (WiMAX-2) и LTE-Advanced (LTE-A).

ТЕХНОЛОГИИ 4G

Пространственное разнесение и MIMO

Эти два приема основаны на использовании нескольких антенн на базовой станции и в оборудовании пользователя (UE — user equipment) для увеличения отношения сигнала к шуму и интерференции (SINR) и для обеспечения одновременной передачи на нескольких несущих.

Прием данных осуществляется той антенной, мощность полезного сигнала на входе которой максимальна. Применяются две основные конфигурации: пространственное разделение передающих антенн и пространственное разделение передающих и принимающих антенн.

В первом случае по крайней мере две антенны установлены на станции. Во втором по нескольку антенн установлено как на базовой станции, так и в терминале пользователя. Это обеспечивает максимальную защиту от затухания сигнала и одновременно позволяет разделять сигнал на несколько лучей, чтобы обеспечить максимально высокое отношение SINR. Для иллюстрации оба подхода изображены на рисунке 1. В сети 4G используется конфигурация TxD и RxD.

Технология MIMO является развитием этой концепции. Применяется несколько антенн, передающих в восходящем и нисходящем направлениях, чтобы позволить разделять сигнал на несколько несущих одновременно в обоих направлениях передачи (DL и UL). На приемном конце производится восстановление исходного сигнала. На рисунке 2 показан пример MIMO для нисходящего потока (DL).

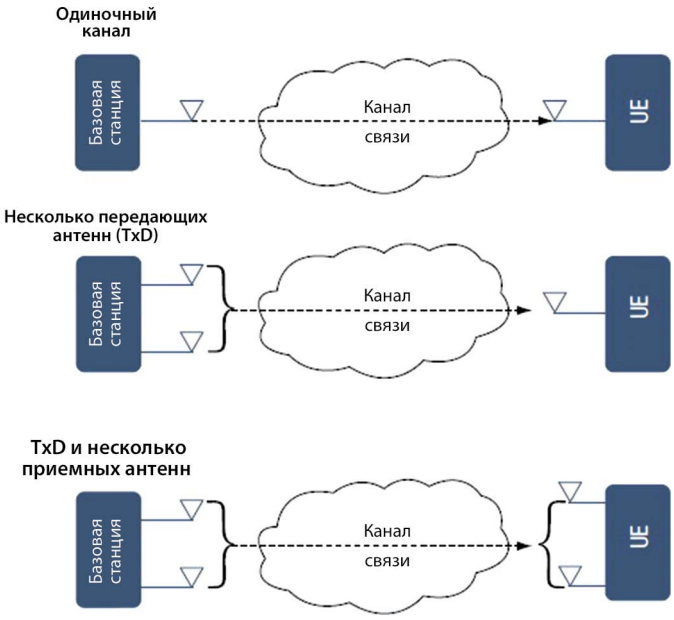


Рис. 1. **Разновидности пространственного разделения**

Таблица 1. **Стандарты, претендующие на соответствие 4G**

Параметр	HSPA+	LTE	LTE-Advanced	WiMAX 1	WiMAX 2
Макс. скорость DL	28/42/84 (R7, R8, R9) Мбит/с	100 Мбит/с	1 Гбит/с	63/128 Мбит/с	1 Гбит/с
Макс. скорость UL, Мбит/с	11/23 (R7, R8)	50	500	28/56	500
Макс. задержка (на круг), мс	50	10	5	10	5
Комитет	3GPP (GSM)	3GPP (GSM)	3GPP (GSM)	IEEE	IEEE
Стандарт	Релиз 7	Релиз 8	Релиз 10	802.16	802.16m
Год запуска	2008/2009	2010/2011	Не определено	2007	Не определено
Метод доступа	CDMA	OFDMA (DL)/ SC-FDMA (UL)	OFDMA (DL)/ SC-FDMA (UL)	OFDMA	OFDMA
Модуляция и MIMO	64 QAM, 2×4 MIMO	64 QAM, 4×4 MIMO	128 QAM, 8×8 MIMO	64 QAM, 4×4 MIMO	128 QAM, 8×8 MIMO

OFDM

Мультиплексирование с ортогональным разделением частот применяется давно и позволяет передавать модулированный сигнал на ортогональных несущих, расположенных близко друг к другу.

Как видно из таблицы 1, в WiMAX 1 и 2 используется OFDMA, а в LTE — OFDMA при передаче в DL и SC-FDMA при передаче в UL. Модификация OFDMA — это OFDM для нескольких пользователей (т.е. множественный доступ). Каждому пользователю назначается свой набор несущих.

Разделение частот с множественным доступом и одной несущей (Single carrier FDMA) имеет меньшую пропускную способность, чем OFDMA, однако обеспечивает более низкое отношение пиковой мощности к средней (PAPR) за счет предварительной обработки

передаваемых символов. Это позволяет повысить эффективность передачи энергии и снизить стоимость оборудования.

Итак, все технологии 4G имеют схожую основу. Различия лежат выше. Например, в LTE-Advanced и WiMAX 2 создатели особенно позаботились об улучшении характеристик на краю зоны покрытия. Для ослабления этих эффектов применяется несколько инструментов.

Первый из них — комбинирование (или агрегация) частот. Это сочетание нескольких несущих для повышения общей пропускной способности. Каналы соединяются на физическом уровне. Достоинством данного подхода является возможность комбинирования несмежных каналов. Нехватка частотного спектра — самая большая проблема мобильных сетей. При использовании несмежной агрегации можно осуществлять передачу по расположенным далеко друг от друга частотным каналам. Недостатком является существенное увеличение PAPR. Для компенсации этого эффекта применяются методы уменьшения коэффициента амплитуды (CFR — Crest-Factor Reduction). Кроме этого, увеличение полосы сигнала приводит к появлению частотной зависимости и другим искажениям.

Вторая значимая технология — скоординированный многоточечный обмен (CoMP — coordinated multi-point), т.е. одновременный обмен пользователя с несколькими базовыми станциями. По сути, она превращает интерференционные помехи на краю ячейки в сигнал, который можно использовать. Для CoMP требуется тщательная координация данных между станциями и очень быстрое измерение параметров канала. Технология предусматривает два режима: совместная одновременная передача от нескольких базовых станций одному абоненту или динамический выбор ячейки и передача данных от одного eNB.

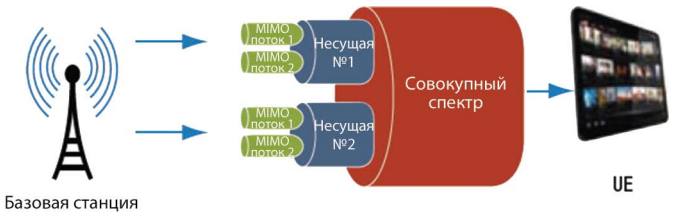


Рис. 2. **MIMO для нисходящего потока**

Последний инструмент, интеллектуальное реле, используется в LTE-Advanced и WiMAX 2. Он предназначен для повышения качества связи на краю ячейки. Реле принимает, демодулирует и декодирует данные, осуществляет коррекцию ошибок и ретранслирует новый сигнал. По сути, оно сообщает оборудованию пользователя интерфейс между базовой станцией и UE, а терминал пользователя ретранслирует его уже от своего имени другой базовой станции.

Реле делятся на два типа. Реле первого типа представляют собой отдельную базовую станцию с точки зрения абонента. Они контролируют свою идентичность и транслируют собственный сигнал синхронизации и опорные символы. Реле второго типа являются расширением главной базовой станции. Управляющая информация от станции передается напрямую, в то время как реле собирает и обрабатывает данные пользователя.

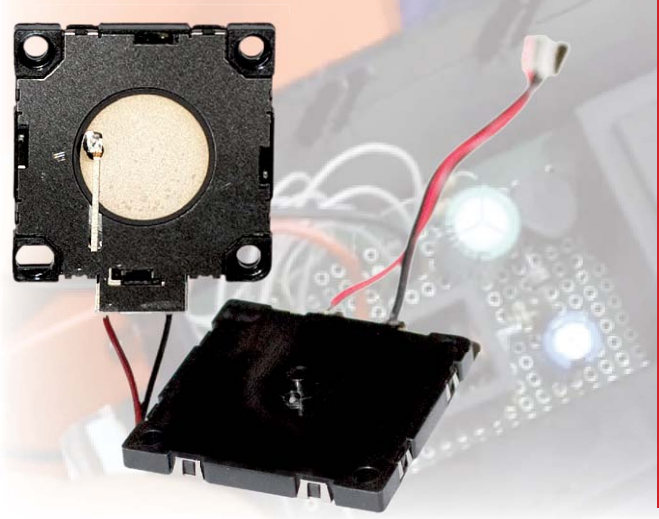
Реле второго типа будут, скорее всего, применяться для увеличения информационной емкости, в то время как реле первого типа позволяют повысить емкость сети за счет увеличения количества абонентов.

HSPA+

В HSPA+ используется MIMO 2×2

Honeywell
FLUKE
EPCOS
SICK
VISHAY
BOURNS
IOR
TE connectivity
Panasonic ideas for life
CRYDOM
Data Vision
MITSUBISHI ELECTRIC
Kingbright
muRata Innovator in Electronics
velleman

Пьезонасос
для охлаждения малогабаритных компонентов
muRata Innovator in Electronics



- Замена радиаторов и вентиляторов
- Рабочая частота: 26 кГц
- Производительность: 1 л/мин. (15 В ампл.)
- Статическое давление: 1900 Па (15 В ампл.)
- Габаритные размеры: 20 x 20 x 1.85 мм

www.platan.ru
ПЛАТАН

Офисы в Москве: м. Молодежная: ул.Ивана Франко, 40, стр.2, (495) 97 000 99, platan@aha.ru;
м. Новослободская: 1-й Щемиловский пер., 16, стр.2 (495) 744 70 70, platan@platan.ru
Офис в Санкт-Петербурге: ул. Зверинская, 44 (812) 232 88 36, baltika@platan.spb.ru

РЕКЛАМА

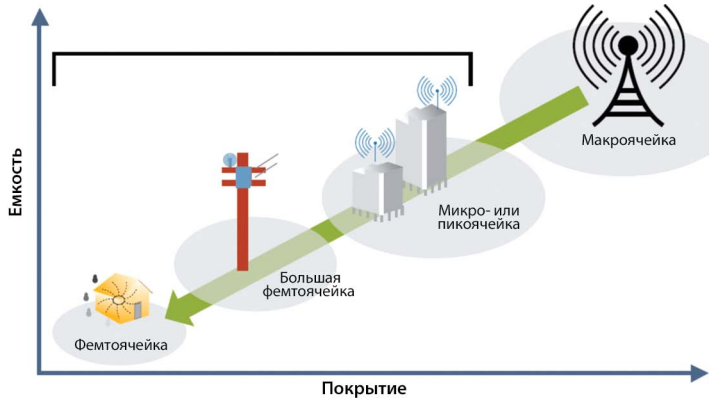


Рис. 3. **Маленькие ячейки**

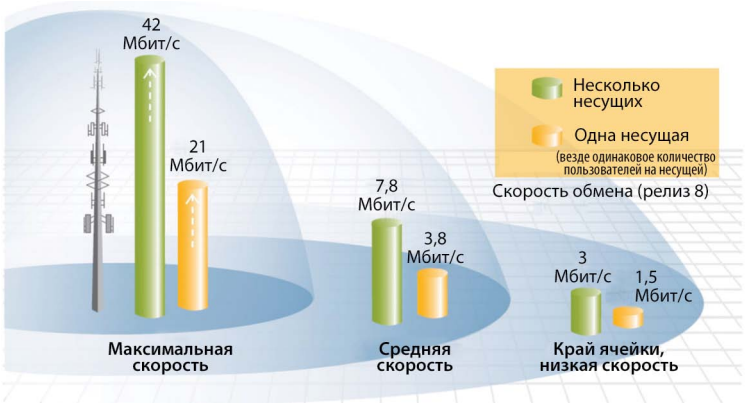


Рис. 4. **Качество связи в зависимости от удаленности от базовой станции**

и модуляция 64 QAM. Максимальная скорость передачи в нисходящем направлении 84 Мбит/с, в восходящем — 22 Мбит/с. Для перехода с 3G на HSPA+ не требуется замены существующего оборудования. Базовые станции, спектр частот и сетевое оборудование — все остается прежним. По этой же причине операторы, использующие оборудование CDMA2000, а не GSM, не могут перейти на HSPA+. Для них остается выбор между LTE и WiMAX.

Недостаток HSPA+ — разделение сети на два уровня: для голосовой связи (сеть на основе коммутации цепей, CS) и передачи данных (сеть с коммутацией пакетов). В целях сокращения издержек операторы будут стараться продлить срок службы существующей CS-инфраструктуры, модернизация и обслуживание которой — дорогая процедура. К тому же операторы, использующие HSPA+, не будут иметь возможности применять такие инновации как базовые IP-сети. В LTE и WiMAX такая возможность есть.

Распространению HSPA+ мешает мировой тренд, нацеленный на LTE. Если он не приостановится, операторов HSPA+ будет меньшинство, что приведет к увеличению стоимости оборудования и в конечном счете поставит под сомнение перспективность технологии. Большинство GSM-операторов рассматривают HSPA+ как ступень на пути к LTE.

По некоторым данным, в середине прошлого года в мире насчитывалось почти 400 сетей с поддержкой HSPA, 150 из которых к концу 2011 г. планировалось перевести на HSPA+. Приведем другие статистические данные (на август 2011 г.). Количество абонентских устройств с поддержкой HSPA+: 182 от 35 производителей, из них 97 поддерживают скорость обмена 21 Мбит/с, 13 устройств — 28 Мбит/с, 71 устройство — 42 Мбит/с и одно — на 84 Мбит/с. В середине прошлого года в 69 странах было запущено 136 сетей HSPA+ (это примерно треть операторов 3G).

WiMAX 1 и WiMAX 2

То обстоятельство, что стандарты 802.16 и смежные технологии появились раньше LTE и HSPA+, играет на руку WiMAX. Не менее значима поддержка компаний-лидеров на рынке связи. С технической точки зрения WiMAX имеет примерно такие же характеристики, как LTE: гибкость спектра, базовая сеть IP. Однако принятию его в качестве стандарта 4G мешают некоторые особенности. Во-первых, двунаправленные каналы с временным разделением (TDD) или непарный спектр. В то время, когда разрабатывался WiMAX, это была общепринятая форма спектра. Для 4G используется TDD и FDD (частотное разделение), причем доля FDD вдвое превышает долю TDD.

WiMAX — технология, разработанная с нуля, а не на основе существующей (как LTE на основе GSM). В сети GSM уже 2,8 млрд абонентов, которые, вероятнее всего, будут переведены на LTE. С другой стороны нельзя сказать, что WiMAX проиграл. Он с успехом применяется на развивающихся рынках, а также в нетелекоммуникационных областях, таких как защита здоровья, промышленные и военные приложения. Тем не менее, большинство операторов уже ориентировано на LTE, и выбирают этот стандарт по инерции, а не за технические преимущества.

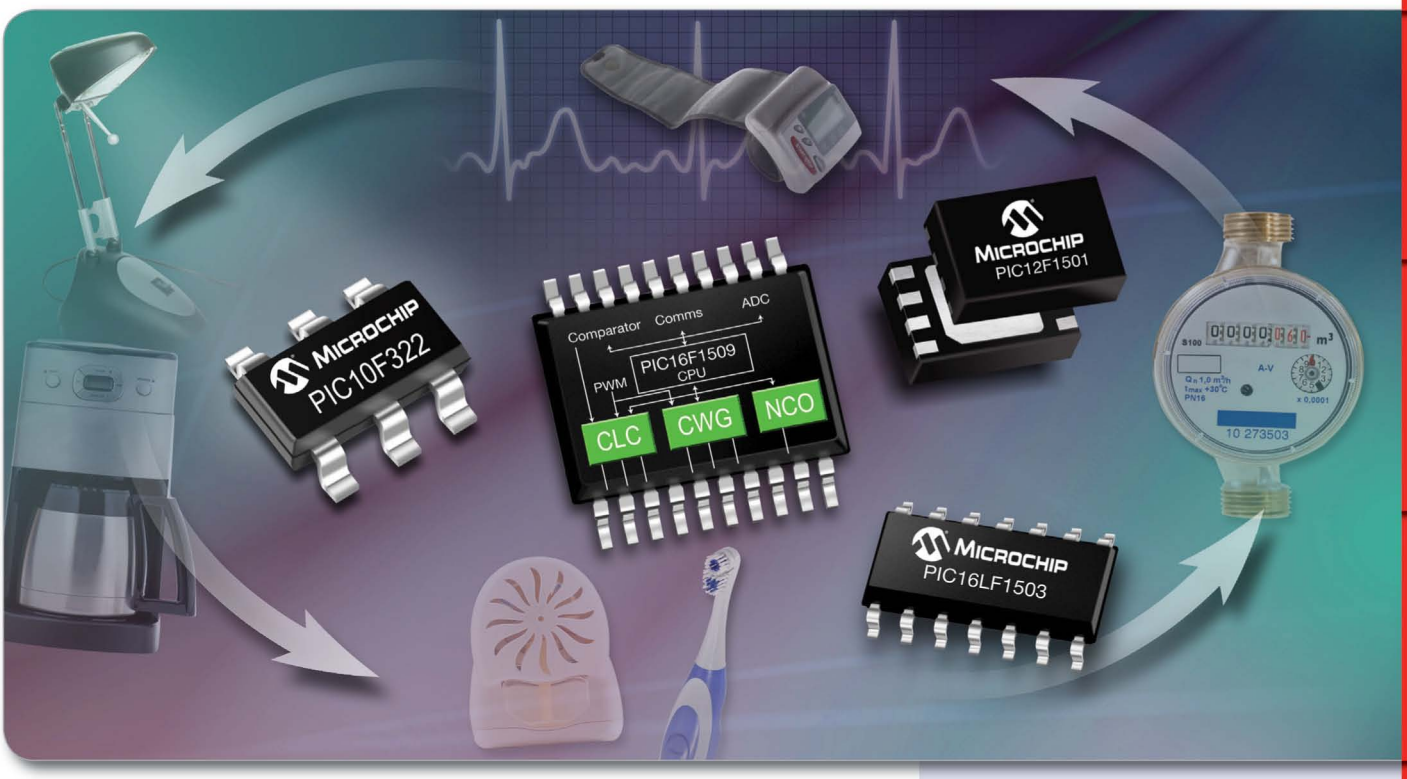
Ожидается, что скорость загрузки в соответствующих беспроводных сетях сможет достигать 180 Мбит/с при использовании TDD канала 20 МГц, что гораздо выше существующих показателей. Новый стандарт берут на вооружение такие серьезные организации как ARIB, TTA и WiMAX Forum. Он позволит повысить пропускную способность беспроводных сетей в несколько раз. Так, стационарное оборудование в сетях нового поколения сможет принимать данные на скорости до 1 Гбит/с, а мобильные устройства — до 100 Мбит/с. При этом сохранится обратная совместимость с существующим оборудованием WiMAX. Существующие мобильные сети WiMAX (IEEE 802.16e) обеспечивают теоретическую пропускную способность до 40 Мбит/с. При передаче данных на стационарный компьютер скорость достигает 75 Мбит/с. Осенью прошлого года компания Samsung показала экспериментальную систему WiMAX второго поколения, обеспечивающую скорость передачи данных в 330 Мбит/с.

Помимо увеличения скорости стандарт IEEE 802.16m (WiMAX 2) предлагает поддержку многопользовательского доступа, поддержку малых базовых станций и самоорганизующихся сетей, режим работы с несколькими несущими и ряд других технологий. Стандарт предусматривает обратную совместимость с оборудованием WiMAX 1.

LTE и LTE-A

Кажется, что LTE и впоследствии LTE-A станут очевидными лидерами среди технологий 4G. С технической точки зрения LTE позволяет существенно повысить скорость передачи по сравнению с существующими сетями 3G HSPA и EV-DO (также на основе CDMA2000). Кроме того, LTE имеет ровную архитектуру доступа к радиосети (RAN — radio access network) и базовую сеть IP, что позволяет сократить капитальные и операционные издержки и в то же время сохранить возможность

Новые 8-и разрядные микроконтроллеры с модулем конфигурируемой логики в корпусах от 6- до 20-и выводов



Новые 8-и разрядные микроконтроллеры Microchip PIC10F/LF32x и PIC12/16F/LF150x позволяют вам добавить функциональности, уменьшить размер и цену, а так же уменьшить потребление тока ваших разработок с помощью интегрированных модулей Конфигурируемых Логических Ячеек (Configurable Logic Cells – CLC), Комплементарного Формирователя Сигналов (Complementary Waveform Generator – CWG) и Управляемого Цифрового Генератора (Numerically Controlled Oscillator – NCO).

Конфигурируемые Логические Ячейки (CLC) дают вам возможность программного управления комбинационной и последовательной логикой, что дает вам дополнительные возможности по уменьшению числа внешних элементов и уменьшению размера кода. Модуль Комплементарного Формирователя Сигналов помогает расширить функции различной периферии по управлению выходными каскадами, а Управляемый Цифровой Генератор предоставляет возможность формирования линейно-изменяющейся частоты с высоким разрешением для задач формирования звука и цифровых балластов.

Микроконтроллеры PIC10F/LF32x и PIC12/16F/LF150x имеют низкий ток потребления, внутренний генератор с частотой 16МГц, АЦП, датчик температуры и ШИМ-генератор. Все микроконтроллеры имеют миниатюрные корпуса с числом выводов от 6- до 20-и выводов.

БЫСТРЫЕ В ОСВОЕНИИ ОТЛАДОЧНЫЕ СРЕДСТВА

Отладочный комплект PICDEM™ Lab - DM163045

Отладочная платформа PIC16F193X 'F1' - DM164130-1

Демонстрационная плата PICkit™ Low Pin Count Demo Board - DM164120-1

Бесплатная утилита конфигурирования «CLC Configuration Tool»:
www.microchip.com/get/euclctool

Посетите сайт www.microchip.com/get/eunew8bit чтобы получить больше информации о маловыводных контроллерах PIC с новой периферией

www.microchip.com

MICROCHIP

РЕКЛАМА

Имя и лого Microchip, а также HI-TECH C, MPLAB, и PIC являются зарегистрированными торговыми Microchip Technology Incorporated в США и других странах. mTouch, PICDEM, PICkit, и REAL ICE являются зарегистрированными торговыми Microchip Technology Incorporated в США и других странах. Все другие торговые марки являются собственностью соответствующих компаний. © 2011, Microchip Technology Incorporated. Все права защищены. DS30629A. ME293ARus/11.11

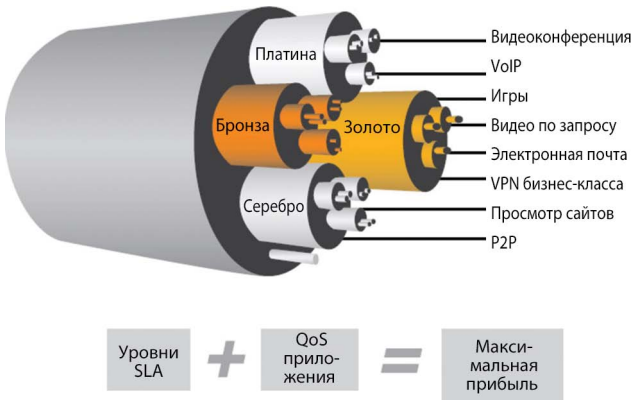


Рис. 5. **Формирование трафика и управление через DPI**

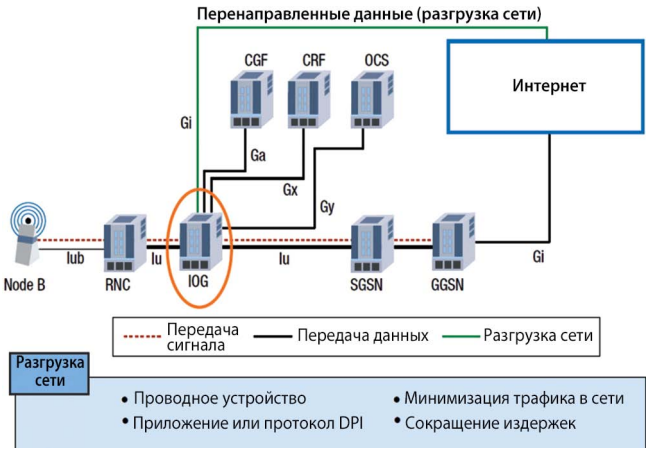


Рис. 6. **Разгрузка сети с помощью IOG**

РЕКЛАМА

внедрения инновационных сервисов. Использование двухуровневой модели сети с голосовыми и пакетными данными позволяет отказаться от дорогостоящей голосовой связи.

Переход на LTE-A будет не слишком затратным для операторов, поскольку они могут использовать существующие станции, обновив ПО. LTE — самая дешевая технология 4G в смысле стоимости передачи бита.

Конфигурация 8×8 MIMO позволяет достигать скорость передачи в нисходящем направлении более 1 Гбит/с при полосе 40 МГц. Чем шире полоса, тем выше максимальная скорость. Максимальная скорость в восходящем потоке превышает 15 бит/с на полосе в 1 Гц. Главная интрига для LTE — выберут ли операторы GSM технологию HSPA+ для перехода на LTE-A, или сразу переключатся на LTE.

СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Двумя ключевыми факторами являются принцип разделения на маленькие ячейки и возможность интеллектуального управления трафиком через глубокий анализ пакета (DPI — Deep Packet Inspection). Это самые важные элементы любой технологии 4G. Под маленькой ячейкой понимается группа базовых станций с различной зоной покрытия (см. рис. 3).

Создание маленьких ячеек имеет даже большее значение для пропускной способности сети, чем переход на более современный интерфейс связи. Мобильные сервисы данных предоставляются по общему каналу, поэтому чем больше абонентов обслуживается одновременно, тем уже полоса для каждого из них. Если сжать ячейку, эффективно уменьшается количество обслуживаемых пользователей и сразу повышается быстродействие. Кроме того, отношение полезного сигнала к интерференции и шуму (SINR) уменьшается по мере удаления от станции и, соответственно, снижается качество связи. На рисунке 4 приведен этот эффект на примере HSPA+.

Маленькие ячейки гарантируют высокое качество связи и являются самым выгодным решением с экономической точки зрения. Существует двойная модель, когда связь с домом и горячей точкой осуществляется по 4G, а в макроячейке — по 3G. Если число подписчиков LTE и WiMAX будет расти, емкости сети будет исчерпана. В этом случае они, несомненно, позаимствуют некоторые приемы из HSPA+, а именно — интеллектуальное формирование трафика и управление им.

В стандарте HSPA+ отмечено, что при переходе на него потребуется увеличить емкость базовых сетей. Операторы должны поставить дополнительное базовое оборудование или использовать решения DPI, чтобы увеличить срок службы существующей инфраструктуры. На рисунке 5 показаны преимущества DPI на верхнем уровне. Глубокий анализ пакета также позволяет снять часть нагрузки с базовой сети. На краю ячейки ставится шлюз (IOG) для отвода интернет-трафика (см. рис. 6).

В заключение хотелось бы отметить, что гонка среди технологий 4G — это, по сути, кампания, которую проводят операторы за увеличение доли на рынке. С технической точки зрения переход на 4G — это марафон, а не спринт. Именно поэтому нельзя признать окончательное лидерство LTE. Интересно посмотреть, как WIMAX и HSPA+ будут с ним бороться. В любом случае победитель пока не определен и вряд ли определится в текущем году.

ЛИТЕРАТУРА

1. *McClearnon D., Huan W. Defining the 4G PHY architecture design challenges// www.eetimes.com.*
2. *Материалы сайта www.mforum.ru*
3. *Mersch T. Demystifying the 4G Phenomenon//RTCmagazine, август и октябрь 2011.*