

Продолжение. Начало в №1'2011

Высокоскоростные сети мобильной связи поколения 3G

Часть 2. Технологии сетей мобильной связи HSPA

Во второй части цикла статей, посвященных высокоскоростным сетям мобильной связи поколения 3G, описываются особенности High Speed Packet Access (HSPA). Термин HSPA объединяет в одно название две технологии: HSDPA (передача данных от базовой станции к абоненту) и HSUPA (передача данных от абонента к базовой станции). В статье рассмотрены обе технологии и приведен пример нового модуля Cinterion, поддерживающего их.

Виктор Алексеев, к. ф.-м. н.
info@telemetry.spb.ru

Денис Можайков
denis.mozhaikov@euroml.ru

Технология HSDPA

Рабочая группа 3GPP постоянно совершенствует стандарты IMT-2000/UMTS. Технология High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) принадлежит к семейству решений WCDMA/UMTS, использующих пакетную передачу данных, и полностью совместима с UMTS Release 99. Это позволяет одновременно предоставлять сервисы голосовой связи и передачи данных HSDPA и UMTS (более подробно описано в ч. 1 БТ № 1'2011). Последняя модификация технологии HSDPA позволяет получать максимальную теоретическую скорость передачи данных до 21 Мбит/с в режиме downlink transfer (от базовой к мобильной станции). Фактически HSDPA является «надстройкой» к сетям UMTS, поэтому ее нередко называют поколением 3,5G.

Необходимо подчеркнуть, что протоколы HSDPA поддерживают передачу данных только от базовой станции (БС) к мобильной абонентской станции (Mobile Services, MS), получившую название «нисходящая передача данных». Обратная передача данных от абонентской станции (АС) к базовой описывается протоколами HSUPA. Подробнее об этом будет сказано далее.

В спецификации 3GPP Release 5 была впервые опубликована архитектура технологии HSDPA [8]. В данном документе для HSDPA описаны алгоритмы адаптивной модуляции и кодирования AMC (Adaptive Modulation and Coding), а также модернизированный метод автоматического запроса повторной передачи ARQ (Automatic Request for Repeat). Отметим, что в Release 5 описаны протоколы IP версии 6 (IPv6). В этой версии добавлена также подсистема IP-мультимедиа (IMS). Домашний регистр (HLR) дополнен сервером собственных абонентов (HSS). В структуре UTRAN прописаны эффективные услуги мультимедиа на базе IP в UMTS. Кроме того, усовершенствована

поддержка функции по определению местоположения (LCS).

Для технологии HSDPA в спецификации стандартов 3GPP Release 5 используется новый транспортный канальный уровень High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH). В одном поддиапазоне возможна организация до 15 таких каналов с фактором распределения 16. Перераспределение каналов под задачи конкретных пользователей изменяется каждые 2 мс. Реализация этого уровня стала возможной за счет введения в стандарт трех новых физических каналов:

- HS-SCCH (High Speed-Shared Control Channel) — высокоскоростной контрольный канал для информирования пользователя об отправке данных на HS-DSCH (два верхних слота).
- HS-DPCCH (Uplink High Speed-Dedicated Physical Control Channel) — канал для подтверждения информации о доставке текущего контроля качества передачи.
- HS-PDSCH (High Speed-Physical Downlink Shared Channel) — канал, по которому физически передаются данные пользователя (в виде избыточного кода, содержащего собственно данные и дополнительные информационные биты).

В технологи HSDPA реализован ARQ-механизм защиты от помех, при котором передача данных происходит по блокам. На приемной стороне обеспечивается контроль ошибок и генерация запроса о необходимости повторения той части информации, где они были обнаружены. В случае некорректного приема данных в новой технологии FHARQ (Fast Hybrid Automatic Repeat Request) подтверждение приема пакетов отслеживается как базовой, так и абонентской станцией. Повторные пакеты чередуются со вновь передаваемыми.

Оцифрованная информация мультиплексируется и кодируется для передачи по соответствующему

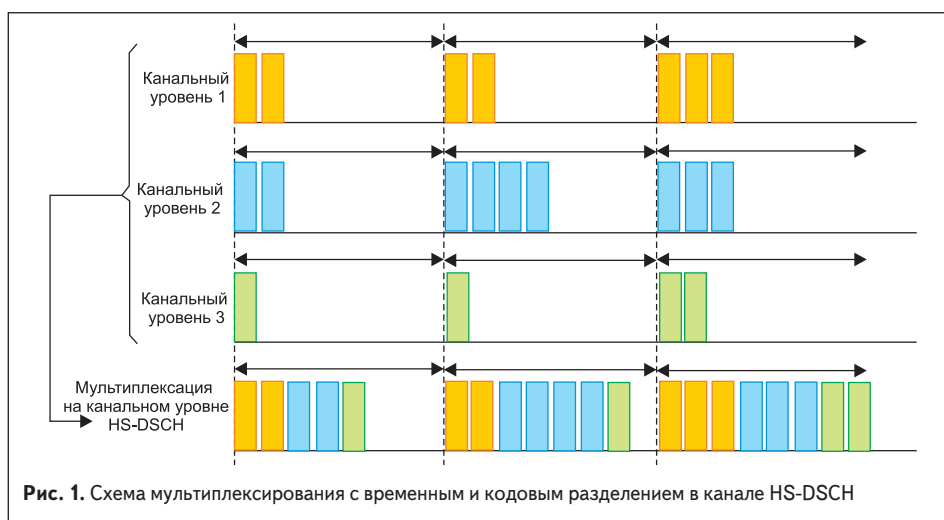


Рис. 1. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH

физическому каналу. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH, объединяющем три транспортных канала DCH 1–3, приведена на рис. 1.

В технологии HSDPA применяются схемы модуляции QPSK (Quadrature Phase-Shifting Keying, квадратурная фазовая модуляция) и 16-, 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation, квадратурная амплитудная модуляция).

При использовании QPSK, в зависимости от значения информационного элемента, изменяется только фаза сигнала, в то время как амплитуда и частота не меняются. При этом каждому информационному биту ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения (рис. 2).

В квадратурной фазовой модуляции используются четыре значения фазы несущего колебания. В этом случае фаза сигнала должна принимать значения 45, 135, 225 и 315°, размещенных на равных расстояниях по окружности. При использовании четырех фаз в QPSK на символ приходится два бита. Хотя QPSK можно считать квадратурной модуляцией (QAM-4), иногда ее проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90°. При таком подходе четные (нечетные) биты используются для модуляции синфазной составляющей, а нечетные (четные) — для квадратурной составляющей несущей. В схеме QPSK фаза несущего колебания меняется скачкообразно в зависимости от информационного сообщения. QPSK обеспечивает высокую помехоустойчивость. Однако в ряде случаев за счет уменьшения помехоустойчивости канала связи можно увеличить его пропускную способность. Более того, при применении помехоустойчивого кодирования можно более точно планировать зону, охватываемую системой мобильной связи.

В другом варианте после канального кодирования и перемежения битов производится преобразование информации с помощью модуляции 16-QAM в так называемые «QAM-ячейки». В этих случаях каждому комплексному символу модуляции соответствует гармоническое колебание, имеющее одно из 4, 16 или 64 возможных сочетаний амплитуды и начальной фазы или такое же количество кодовых комбинаций, каждое из которых

соответствует определенному варианту гармонического колебания. Например, в случае 4-QAM получим двоичную кодовую комбинацию, содержащую два бита (00, 01, 10, 11). В случае 16-QAM такие комбинации содержат по четыре бита информации, а в случае 64-QAM — по шесть битов.

Стандартами UMTS/HSDPA предусмотрено 20 категорий с различными значениями максимального числа одновременно используемых кодов (до 15) и типом модуляции в радиоканале QPSK или QAM. Каждой из этих комбинаций соответствует максимальная скорость передачи данных в пакетном режиме стандарта

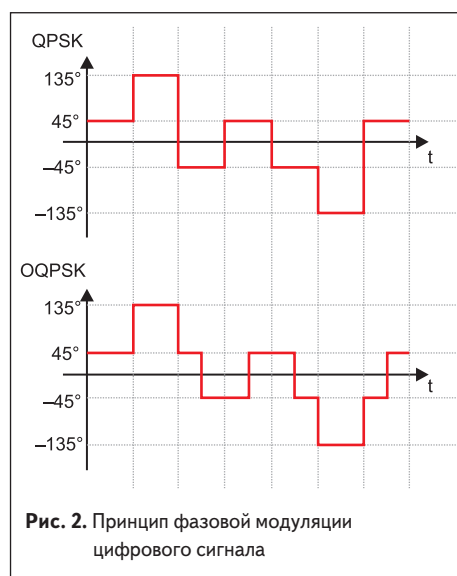


Рис. 2. Принцип фазовой модуляции цифрового сигнала

HSDPA в нисходящем направлении — от БС к мобильному терминалу (табл. 1).

При увеличении числа позиций QAM пропускная способность канала связи увеличивается в логарифмической пропорции $\log_{264}/\log_{216}/\log_{24}$. Однако при этом снижается помехоустойчивость, поскольку уменьшаются разности между смежными значениями амплитуд и фаз. Пропускная способность каналов связи и скорость передачи зависят от фактора распределения (spreading factor), который определяет количество каналов связи, закодированных

Таблица 1. Скорость передачи в технологии HSDPA в зависимости от типа используемой модуляции

Протокол	Версия 3GPP	Категория	Максимальное число кодов HS-DSCH	Модуляция	MIMO, Dual-Cell	Коэффициент избыточности кода при максимальном битрейте	Битрейт, Мбит/с				
HSDPA	Release 5	1	5	16-QAM		0,76	1,2				
		2					1,2				
		3					1,8				
		4					1,8				
		5					3,6				
		6	3,6								
		7	10	7,2							
		8		7,2							
		9	15	10,1							
		10		14							
		11	5	QPSK			0,9				
		12		1,8							
HSPA+	Release 7	13	15	64-QAM		0,82	17,6				
		14					21,1				
		15	16-QAM	MIMO			23,4				
		16					28				
		19	64-QAM				35,3				
		20					42,2				
		Dual-Cell HSDPA	Release 8	21			16-QAM	Dual-Cell		0,81	23,4
				22							28
23	64-QAM				35,3						
24					42,2						
DC-HSDPA w/MIMO	Release 9	25	16-QAM	Dual-Cell+; MIMO		0,81	46,7				
		26					55,9				
		27	64-QAM				70,6				
		28					84,4				
DC-HSDPA w/MIMO, HSPA++	Release 11*	нд	нд	64-QAM++	Dual-Cell++; MIMO++	нд	672*				

Примечание: * Данные предварительные. Документация стандарта находится в процессе доработки и утверждения

в один поддиапазон. Теоретически UMTS/HSDPA позволяет назначить три таких «нисходящих» канала для одного абонента. Однако на практике не стоит забывать о том, что чем больше число пользователей, тем меньше пропускная способность.

На рис. 3 показано распределение спектра между абонентами сети HSDPA [10]. Как правило, одной и той же сетью пользуются одновременно несколько абонентов. Скорость передачи постоянно меняется, система следит за этим и с интервалом в 2 мс автоматически регулирует мощность, подстраиваясь под условия среды. При этом приоритет предоставления каналов для получения данных от БС отдается тем пользователям, для которых поддерживается наилучшее качество сигнала. Поэтому пользователи, первыми получившие доступ к сети, пока уровень сигнала был невысок, находятся в состоянии ожидания улучшения пропускной способности.

Технология HSUPA

Чтобы регламентировать параметры абонентских станций и определить порядок их взаимодействия с базовыми, была разработана технология HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) — высокоскоростная пакетная передача данных в направлении «вверх» — от абонента к БС. Работу над проектом HSUPA группа 3GPP начала еще в 2002 г. Идея стандарта была сформулирована фирмами Nokia, Samsung, Sony Ericsson и другими лидерами мирового рынка мобильных телефонов и звучала как «максимальная скорость при максимальном радиусе действия и минимальном энергопотреблении». Эта идея была технически сформулирована в 3GPP Release 6. К сожалению, принципиальные различия между передачей данных «вверх» (от АС к БС) и «вниз» (от БС к АС) не позволяют просто использовать всю архитектуру и профили технологии HSDPA для MS (мобильные бытовые телефоны, базовые модули и законченные терминалы). Основная проблема согласования процессов передачи «вверх» и «вниз» заключается в потребляемой мощности. На базовой станции отбираемая

мощность передатчика не ограничена в пределах действующих нормативов. Поэтому разработчики оборудования для БС могут совершенствовать технологии передачи, не задумываясь о проблемах потребляемой мощности. Для бытовых мобильных телефонов, которые составляют основную часть этого рынка, потребляемая мощность является одним из основных критериев выигрыша в конкурентной борьбе.

При разработке HSUPA были использованы методы как временного, так и канального кодирования. Поскольку значительная часть энергопотребления базовой станции HSDPA приходится именно на эти блоки модуляции, данный метод в чистом виде не может быть использован для HSUPA. Поэтому в технологии HSDPA была введена функция коррекции мощности передачи в зависимости от условий среды. Это позволяет сохранить скорости передачи при перегрузках в сети в условиях интенсивных помех. Но это оборудование тоже достаточно энергоемкое. Проблема энергопотребления возникает и при модуляциях. При использовании QAM для улучшения пропускной способности нужно увеличивать ее уровень, но при этом возрастают сложность оборудования и энергопотребление. Другая проблема связана с поэтапной передачей движущейся АС (soft handover). В этом случае принимающая БС должна отслеживать меняющийся сигнал клиента и передавать его другой станции, обеспечивая лучшие условия приема.

Согласно основному варианту спецификации Release 6, в технологии HSUPA использованы модифицированные принципы, использованные при разработке технологии HSDPA. Однако технология передачи данных «вверх» отличается от технологии передачи «вниз». В редакцию HSUPA 3GPP Release 6 по сравнению с Release 5 были внесены следующие изменения:

- Добавлены новые объекты MAC-уровня (управления доступом к среде передачи данных):
 - MAC-es в блоке АС;
 - MAC-es в блоке БС;
 - MAC-es на контроллере радиосети.

- В транспортном канале введен новый расширенный выделенный канал передачи данных E-DCH.
- Добавлен выделенный физический канал E-DPCH (Dedicated Physical Channel). В нем мультиплексированы два физических канала: DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) и DPCCCH (Dedicated Physical Control Channel). Кроме того, добавлены расширенный канал индикации сообщения о доставке (E-HICH), управляющий канал регулировки мощности относительно опорного уровня (E-RGCH) и канал для автоматического регулирования абсолютного значения мощности абонентской станции (E-AGCH).
- Время инкапсуляции и формирования пакетов данных сокращено до 2 мс. Однако оставлена возможность использования и TTI, равного 10 мс.
- Значение коэффициента расширения (SF) принято равным 2.
- Увеличена скорость повторной передачи на первом уровне.
- Для контроля факта доставки данных использован гибридный метод HARQ.
- Введено жесткое управление доступом к эфиру и скоростью передачи со стороны БС.
- Реализованы новые протоколы фрейма, ускоряющие работу Iub и IuR. Интерфейс Iub соединяет БС с блоком контроллеров, а IuR поддерживает сигнальный протокол RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part). По этому интерфейсу организуют связь между обслуживающим (Serving) SRNC и пассивным (Drift) контроллером DRNC. При выполнении хэндовера SRNC осуществляет управление радиоканалами (radio link mapping).

В технологии HSUPA для передачи данных от абонента к базовой станции применяются расширенные выделенные каналы (Uplink Enhanced Dedicated Channel, UE DCH), которые позволяют использовать тот же метод линейной адаптации (Link Adaptation Method, LAM), что и в технологии HSDPA. В свою очередь, этот метод дает возможность реализовать в технологии HSUPA модель ортогонального частотного разделения каналов. При этом последовательный поток информации разбивается на отдельные блоки и символы. Символы разных блоков передаются параллельно, каждый на своей поднесущей частоте. Преимущество данного метода в том, что он позволяет снизить до минимума межсимвольные искажения, возникающие в радиоканале. За счет уменьшения размеров блока данных удалось сократить время инкапсуляции и формирование пакетов данных.

На первом уровне в структуре HSUPA введены новые физические каналы:

- E-AGCH (Absolute Grant Channel) — канал с абсолютным значением ограничения мощности абонентской станции, определяющий опорный уровень;
- E-RGCH (Relative Grant Channel) — канал регулировки мощности относительно заданного значения;
- F-DPCH (Fractional-DPCH) — частичный выделенный физический канал, являющийся модернизированным вариантом канала

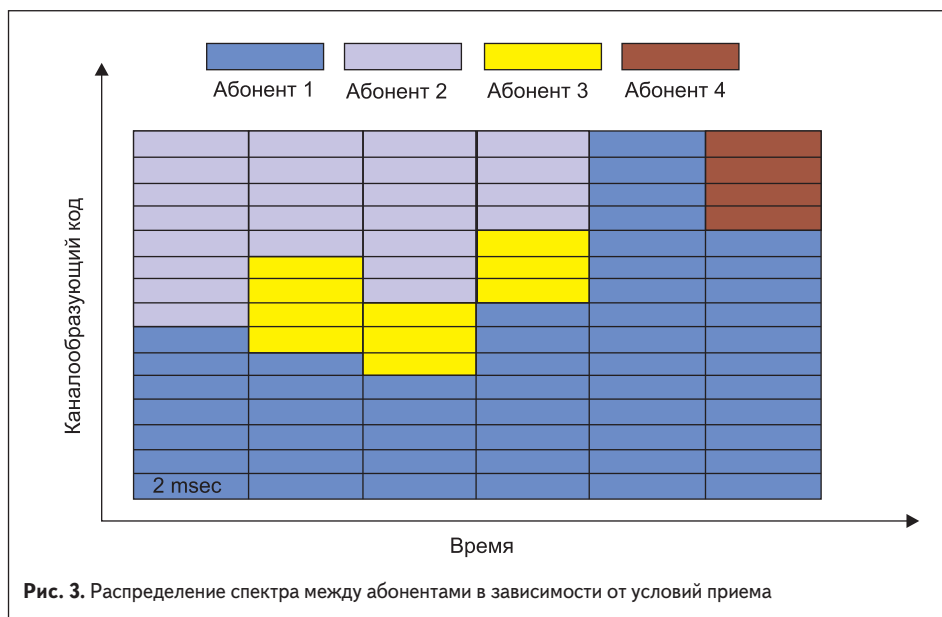


Рис. 3. Распределение спектра между абонентами в зависимости от условий приема

- DPCCN, адаптированным для высокоскоростной пакетной передачи данных вверх;
- E-HICH (E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel) — индикаторный канал;
- E-DPCCN (E-DCH Dedicated Physical Control Channel) — контрольный канал передачи данных;
- E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel) — контрольный канал состояния данных.

В стандарте HSUPA модернизированы протоколы, обеспечивающие управление ресурсами канала и отвечающие за установление, поддержание и разрыв низкоуровневых соединений, динамический выбор частотных каналов и др. В блоке AC на уровне MAC добавлен подуровень, который отвечает за контроль доставки и покадровый формат данных в процессе их передачи. В блоке BC также введены изменения в уровне, контролирующем факт получения данных. В блок контроллеров (S-RNC) добавлен уровень (MAC-es), поддерживающий повторный запрос на получение данных в случае ошибки. Кроме того, этот уровень обеспечивает совместную обработку данных, полученных от базовых станций в процессе эстафетной передачи (handover) для одного и того же абонента. Для ускорения работы интерфейсов Iub/IuR также добавлен новый протокол.

Кроме того, в HSUPA изменены протоколы управления доступом к среде передачи для BC (MAC-e), AC (MAC-e/es) и блока управляющих контроллеров (MAC-es):

- MAC-e структурирован в блоке базовой станции, он вводится отдельно для каждой абонентской станции и регулирует ее взаимоотношения с базой. В рамках этого протокола AC запрашивает разрешение на связь с BC и управляет работой повторной передачи в случае ошибки.
- MAC-es в обслуживающем контроллере также вводится персонально для каждой абонентской станции. Он объединяет и преобразовывает протокольный блок данных (Protocol Data Unit) уровня MAC-es в соответствии с кодировками и номерами каждого кадра и подкадра, а также поддерживает операцию дизассемблирования протокольного блока данных MAC-es.
- MAC-e/es для абонентской станции отвечает за сопровождение метода гибридного контроля подтверждения получения данных; мультиплексирование данных и присвоение идентификационной кодовой последовательности абонента (Transmission Sequence Number, TSN); осуществляет выбор транспортного формата передачи данных на основе полученного статуса выхода в эфир.

При передаче данных от абонента к станции, когда используется расширенный выделенный канал, два кодированных композитных транспортных канала CСТrCH используются одновременно. Транспортный канал может быть сконфигурирован так, чтобы время инкапсуляции (интервал передачи) составляло 10 или 2 мс. При этом заданный интервал передачи 10 мс обязательно должен поддерживаться всеми абонентскими станциями, допущенными к работе в сети, а интервал передачи 2 мс является опциональным. Каждая AC

может иметь только один транспортный выделенный канал передачи данных в конкретный момент времени.

Транспортный блок E-DCH (расширенный выделенный канал) на физическом уровне нагружен на канал E-DPDCH, который работает со временем инкапсуляции 10 или 2 мс. В основополагающей спецификации Release 6 для канала E-DPDCH используется модуляция QPSK. В спецификации Release 7 есть возможность использовать 4-PAM (Pulse Amplitude Modulation, импульсная амплитудная модуляция). Различные модификации модуляций отражены в последующих спецификациях Release 8-11.

Поскольку при передаче данных по DPCCN сначала передаются вспомогательные символы и последовательность символов (RSN), то на уровне E-DPDCH не может быть передана никакая другая информация, кроме полезных символьных данных. Для увеличения скорости передачи в канале E-DPDCH применяются комбинации мультикодов. При этом используются ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения, равным 2. В принципе, возможны и другие варианты кодов с переменной длиной, определяемой коэффициентом расширения спектра SF. Такие коды формируются на основе заданного алгоритма, и каждый последующий уровень удваивает число возможных кодовых комбинаций. Различные наборы кодов обуславливают различные скорости передачи. Так, например, один код с коэффициентом расширения SF4 соответствует скорости передачи 960 кбит/с. Два кода с коэффициентом расширения SF4 дают скорость 1920 кбит/с. При использовании кода с коэффициентом расширения SF4 в трех параллельных каналах скорость увеличивается до 5760 Кбит/с.

Выделенный контрольный канал (E-DPCCN) предназначен для переноса информации о подтверждении получения переданных абонентской станцией данных. По этому каналу передаются:

- информация о расширенном транспортном формате передачи данных, которая составляет 7-битную последовательность и определяет скорость передачи данных;
- дополнительные два бита, содержащие данные о повторной передаче (при этом RSN сообщает, является пакет новым или повторной передачей ранее отправленного);
- последний бит, который дает разрешение или запрещение абонентской станции использовать более высокую скорость передачи по направлению «вверх» (от абонента к BC).

Для случая, когда время инкапсуляции равно 2 мс, десять информационных битов закодированы в 30 битах трех последовательных временных интервалов. В варианте со временем инкапсуляции в 10 мс контент подкадров с TTI, равным 2 мс, просто продублирован пять раз.

Выделенный канал индикации сообщения о доставке (Hybrid ARQ Indicator Channel, HICH) может использоваться несколькими абонентами одновременно. Чтобы различать сигналы каждого пользователя, в сетях с кодовым разделением используются специальные кодовые

последовательности символов, называемые индивидуальными ортогональными подписями. В сетях HSUPA каждому пользователю выделяется одна ортогональная подпись для канала E-HICH и одна — для E-RGCH. Поскольку на HICH доступно всего 40 ортогональных подписей, то только 20 пользователей могут совместно использовать один кодовый канал в каждый определенный момент времени.

Управляющий канал относительной регулировки мощности для абонентской станции E-RGCH предназначен для того, чтобы повысить или понизить выходную мощность передатчика AC. По данному каналу не передается точное значение мощности, которую абонентская станция должна установить. Базовая станция отслеживает сигнал AC и регулярно сообщает ей текущий статус, относительно которого AC должна регулировать свою работу. В случае если связь ухудшается, BC выдает команду на увеличение мощности передачи AC. В том случае, когда абонентов в сети мало и сигнал AC достаточно сильный, BC посылает управляющий сигнал на уменьшение мощности.

Канал абсолютной регулировки мощности E-AGCH предназначен для того, чтобы установить верхний предел мощности передатчика абонентской станции, который может быть задействован в данный конкретный момент. Максимальная мощность напрямую связана с максимальной скоростью передачи данных. В отличие от метода относительного регулирования мощности, абсолютное ограничение задается достаточно редко, когда AC запрашивает каналные ресурсы и когда устанавливается несущая частота.

По каналу E-AGCH базовая станция передает два вида сообщений:

- точное значение уровня ограничения мощности (Absolute Grant value);
- характер ограничения мощности (Score AG). Score AG указывает на то, будет ли значение Absolute Grant использоваться только в методе гибридного контроля подтверждения получения данных (HARQ) или в других процессах также.

При запросе на установление соединения с базовой станцией абонентская станция передает информацию о своих технических возможностях. В зависимости от них BC устанавливает для конкретной AC соответствующий режим связи.

Как уже было сказано выше, в технологии HSUPA использован HARQ (гибридный метод автоматического запроса повторной передачи). Базовым в этом варианте является метод Stop and Wait, который означает, что перед началом трансляции нового блока данных передатчик ожидает подтверждения об успешном приеме предыдущего.

Как правило, этот способ используется в режиме OFDMA, который позволяет выделить специальный канал для подтверждения передачи. Если HARQ включен, каждый пакет, переданный BC, требует от AC подтверждения получения по специальному обратному каналу. В тех случаях, когда пришло сообщение об ошибке или подтверждение успешного приема не получено в установленный срок, базовая станция

приступает к повторной передаче. С этой целью можно использовать два метода. В одном случае применяется так называемый метод передачи с увеличивающейся избыточностью (Incremental Redundancy, IR). При подключении функции HARQ для каждого исходного пакета в канальном коде формируется до четырех субпакетов, каждый со своим идентификатором (SPID). Если произошел сбой, повторно транслируется субпакет с другим SPID, который имеет тот же самый кодированный исходный пакет, но с иными параметрами кодера. В методе с «управляемым комбинированием» (Chase Combining, CC) в случае возникновения ошибки осуществляется повторная трансляция одного и того же кодированного пакета. Этот метод может использоваться только с мобильными абонентскими станциями.

В варианте HSUPA при передаче от АС к БС, как отмечалось выше, используется принцип приоритетов. Первоначально абонентская станция запрашивает разрешение на начало передачи. Базовая станция принимает решение, сколько и какие именно станции будут участвовать в сеансе связи. Также в режиме передачи «вверх» реализован вариант работы по расписанию (scheduled mode), при котором АС выходит на связь в заранее оговоренное время. Предусмотрен режим работы в экстренных ситуациях.

Следует также отметить улучшенную систему контроля качества передачи данных (QoS). Блок контроля качества может обслуживать до 15 логических каналов, которые мультиплексируются на одном PDU-уровне. При этом у каждого логического канала могут быть свои различные значения QoS и различные приоритетные уровни.

В настоящее время стандарты 3GPP (Release 6–11) регламентируют девять категорий технологии HSUPA, которые имеют различный набор параметров и определяют технические характеристики и свойства конкретной АС (мобильного телефона или терминала). Категории мобильных абонентских станций, поддерживающих технологию HSUPA, показаны в таблице 2 [14]. Видно, что скорость передачи данных определяется комбинацией базовых параметров оборудования, таких как CT, SF, TTI, MTW TTI.

Приведенные в таблице данные показывают, что чем выше категория абонентской станции, тем выше ее скорость передачи. Максимальная теоретическая скорость, с которой АС может передавать данные на БС, на сегодня составляет 23 Мбит/с. Однако это теория. Еще раз подчеркнем, что скорость передачи является переменной величиной, которая в каждый конкретный момент времени зависит от возможностей абонентской станции (мобильного телефона, смартфона, базового модуля), оборудования базовой станции и от загрузки сети.

Высокоскоростные сети HSPA

Метод высокоскоростной пакетной передачи данных (High-Speed Packet Access, HSPA) объединяет две рассмотренные выше технологии: HSDPA (передача данных от базовой станции к абоненту) и HSUPA (передача данных от абонента к базовой станции).

В стандарте 3GPP Release 8 была разработана усовершенствованная технология, получившая название Dual-Cell HSDPA. Теоретически, этот метод позволяет удвоить скорость передачи данных от БС к абоненту за счет использования удвоенной пропускной способности. Идея этой технологии заключается в том, что в сети HSDPA эксплуатируются две различные радиочастоты. Если задействовать их вместе, то появляется возможность получить два одновременных канала передачи данных «вниз». Это напоминает методику, которая применяется в некоторых маршрутизаторах Wi-Fi.

Как было отмечено ранее, в сетях третьего поколения выделяются непрерывные полосы частот в определенном частотном диапазоне. Например, в России две непрерывные полосы по 15 МГц в диапазонах 1935–1980 и 2125–2170 МГц выделены для организации трех каналов в режиме частотного дуплекса (IMT-DS). Непрерывный участок шириной 5 МГц в полосе радиочастот 2010–2025 МГц отведен для организации одного канала в режиме временного дуплекса (IMT-TC). Существуют сценарии, когда одна из полос остается свободной в течение некоторого промежутка времени. Технология Dual-Cell HSDPA позволяет ее задействовать в качестве дополнительного канала передачи данных.

В стандарте 3GPP Release 9 регламентирована технология HSPA+ (Evolved High-Speed Packet Access), представляющая собой улучшенный вариант HSPA, в котором уже присутствуют более сложные модуляции 16-QAM (Uplink)/ 64-QAM (Downlink) и технология MIMO (Multiple Input Multiple Output, мультивход/мультивыход). В MIMO используются несколько приемных и передающих антенн, которые разнесены между собой таким образом, чтобы достичь наименьшей корреляции между соседними антеннами. В общем случае в методе MIMO поток данных пересылается одновременно, с использованием разных антенн. При этом антенны передают данные независимо друг от друга на одной и той же частоте. Таким образом реализуется несколько пространственно разнесенных подканалов, по которым данные передаются одновременно в одном и том же частотном диапазоне. Усовершенствованная сеть HSPA+ может теоретически поддерживать скорости до 28 Мбит/с «вверх» и до 42 Мбит/с «вниз». В принципе, возможно использование технологии DC-HSDPA в комбинации с MIMO. Кроме того, нет категорического запрета на использование различных частот при объединении полос в DC-HSDPA. Расширенные варианты технологии HSPA+ в совокупности с методом MIMO позволяют в разы увеличить скорости передачи как «вверх», так и «вниз».

Настоящее и будущее высокоскоростных сетей

По данным [14], в конце 2010 г. сети с поддержкой HSPA эксплуатировались на коммерческой основе более чем 200 операторами в 80 странах мира. Большинство сетей 3G реализовано на базе 2G. В процессе выполнения этой работы был накоплен опыт, позволяющий адаптировать старые базовые станции под соответствующие технологии 3GPP. Этот факт говорит о том, что в ближайшие годы можно ожидать ускорения роста количества сетей 3G по всему миру. Во многих странах получил распространение метод, при котором доступ к высокоскоростным сетям третьего поколения реализуется через базовые подстанции WiMax. В России этот проект с коммерческим названием YOTA в последние годы стремительно развивается. Обновление существующих сетей осуществляется в двух направлениях. С одной стороны,

Таблица 2. Скорость передачи в технологии HSUPA для различных категорий абонентских станций

Наименование категории абонентской станции в соответствии со стандартами 3GPP	Максимальная скорость передачи от абонента к базовой станции, Мбит/с	Наименование коммерческой версии абонентской станции, доступной в свободной продаже
Category 1 (3GPP Rel 99)	0,73	
Category 2 (3GPP Rel 2)	1,46	
Category 3 (3GPP Rel 3)	1,46	
Category 4 (3GPP Rel 4)	2,00	Nokia: X3-01, N8, C5, C3-01, E52, E72, E55, 6700 Classic, N900, 5630 XpressMusic; BlackBerry: Storm 9500, 9530; HTC: Dream, Passion (Nexus One)[3]; Sony Ericsson: C510, C903, W705, W995, T715; Samsung: Wave, Wave II
Category 5 (3GPP Rel 5)	2,93	Qualcomm 6290
Category 6 (3GPP Rel 6)	5,76	BlackBerry Tour 9630, Nokia CS-15, Option GlobeTrotter Express 441/442, Option iCON 505/505M, Samsung i8910, Apple iPhone 4, Huawei, E180/E182E/E1820/E5832/EM770W, Micromax A60
Category 7 (3GPP Rel 7)	11,5	
Category 8 (3GPP Rel 8)	11,5	Параметры модуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK only, 3GPP Rel 9 TS 25.306
Category 9 (3GPP Rel 9)	23	Параметры модуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK and 16QAM, 3GPP Rel 9 TS 25.306
Category 11/12 (3GPP Rel 11)*	70*	

Примечание: *Данные предварительные. Документация стандарта находится в процессе доработки и утверждения.

совершенствуются оборудование и программное обеспечение HSDPA. Параллельно происходит улучшение программно-аппаратного комплекса сетей с поддержкой HSUPA. В настоящее время технология модернизации существующих сетей достигла такого уровня совершенства, что примерно 70% существующих сетей WCDMA можно обновить до HSDPA/HSUPA на программном уровне, не меняя при этом заметно аппаратную часть.

Большинство сетей в мире обеспечивают скорости до 7,2 Мбит/с «вниз» и реально могут быть модернизированы для поддержки скоростей 14 Мбит/с. В США, Японии и Европе практически по всей территории поддерживаются скорости 14 Мбит/с. Наибольшее число пользователей сетей 3G зарегистрировано в США: в конце 2010 г. этой услугой там пользовалось более 190 млн чел. В некоторых регионах мира поддерживаются и более высокие скорости. Например, три сетевых провайдера — MI, StarHub и SingTel — обеспечивают скорости до 28 Мбит/с по всему Сингапуру. Австралийский провайдер Telstra поддерживает скорости 14,4 Мбит/с в национальном масштабе и до 42 Мбит/с в некоторых крупных городах. В крупных городах Канады также поддерживается скорость 21 Мбит/с. В Южной Корее глобальное общенациональное покрытие обеспечивает 7,2 Мбит/с. В Гонконге операторы PCCW, CSL и Hutchison реализуют скорости 21 Мбит/с, а Smartone-Vodafone — до 28,8 Мбит/с. В Новой Зеландии по всей стране доступны 21 Мбит/с. В Португалии все операторы мобильной связи поддерживают HSDPA до 21,6 Мбит/с, а в некоторых крупных городах Vodafone предлагает скорость до 42 Мбит/с. Индийский провайдер Mobitel Pvt Ltd обеспечивает 28 Мбит/с.

Объединяя различные методики и комбинируя различные технологии, можно добиться и более высоких скоростей. Так, например, существуют теоретические оценки, показывающие, что скорость передачи данных от БС «вниз» может быть увеличена до 672 Мбит/с, а от абонента «вверх» может достигать 70 Мбит/с. Насколько это верно, покажет время.

Рекордсменом в области поддержки высоких скоростей является фирма Ericsson. В конце 2010 г. в Стокгольме при проведении презентации нового варианта коммерческого сетевого оборудования были зафиксированы скорости передачи данных 168 Мбит/с «вниз» и 24 Мбит/с «вверх». Правда, нужно отметить, что в качестве абонентской станции использовалось специально подготовленное, нестандартное изделие и соединение осуществлялось по методике HSPA с несколькими несущими. На коммерческом оборудовании, доступном в свободной продаже, компания Ericsson продемонстрировала скорость «вниз» 84 Мбит/с в сети HSPA с двумя несущими. В сети с одной несущей скорость была соответственно в два раза меньше — 42 Мбит/с. По словам представителя компании, внедрение в коммерческих сетях технологии HSPA с одной несущей с пиковой скоростью 42 Мбит/с и HSPA на основе двух несущих со скоростью до 84 Мбит/с можно ожидать уже в 2011 г.

В России еще в 2007 г. право построения сетей мобильной связи третьего поколения получили компании, входящие в «большую тройку» российских операторов мобильной связи —

«МТС», «Вымпелком» («Билайн») и «МегаФон». В настоящее время эти провайдеры поддерживают сети 3G практически во всех крупных городах РФ, а также в Кировской, Курганской, Тюменской, Свердловской и Челябинской областях, в Пермском крае, Республике Удмуртия, в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком АО, в Республике Коми и других областях России. Карты охвата услуги 3G можно найти на сайтах этих компаний.

В основном в России поддерживаются сети UMTS/WCDMA, соответствующие Release 5 и поддерживающие максимальные скорости «вниз» 3,6, 7,2 и 9,3 Мбит/с. К сожалению, точную информацию о конкретных значениях поддерживаемых стандартов и скоростей российских операторы сотовой связи в открытом доступе не публикуют. Однако по запросу клиента они обязаны ее предоставлять.

В крупных городах России существуют экспериментальные сети HSDPA/HSUPA с поддержкой более высоких скоростей. Так, например, оператор «МТС» объявил об успешном тестировании в Москве технологии DC-HSDPA на базе своих сетей 3G. Увеличение скорости достигнуто за счет изменения конфигурации оборудования действующей сети HSPA+ и одновременного использования двух частот UMTS вместо одной. В итоге скорость скачивания данных в экспериментальных сетях DC-HSDPA была увеличена до 42 Мбит/с «вниз». Администрация ОАО «Мобильные ТелеСистемы» объявила, что запуск технологии Dual Carrier HSDPA в коммерческую эксплуатацию на сети «МТС» в Москве начнется с апреля этого года. До конца 2011 г. в Москве данную технологию будут поддерживать все базовые станции 3G Indoor.

Модули с поддержкой HSPA для M2M-приложений производства ведущих мировых производителей

Поскольку технологии, используемые в сетях 3G; 3,5G; 4G коренным образом отличаются от решений для старых систем 1G и 2G, то и модули с поддержкой HSPA для M2M-приложений достаточно сильно отличаются от GSM/GPRS/EDGE-модулей. В производстве модулей для сетей HSPA используются новые электронные компоненты. В первую очередь это касается базовых чипсетов, контроллеров и «обвязки» к ним. Под термином «чипсет» (chipset) подразумевается набор микросхем, объединенных в один функциональный блок и размещенных на одном кристалле. В настоящее время среди производителей чипсетов 3G явными лидерами считаются Qualcomm, Infineon Technologies, Broadcom, Texas Instruments, Agere Systems, Mindspeed Technologies, Spreadtrum Communications, Marvell. На базе этих чипсетов крупные мировые производители выпускают 3G-модули для M2M-приложений.

По данным независимого исследовательского института ABI Research, фирма Cinterion Wireless Modules уверенно занимает первое место в сегменте модулей для M2M-приложений. За ней с небольшим отрывом следует Sierra Wireless, на третьем месте китайская SIMCom Wireless Solutions. Далее плотной группой идут Enfora, Motorola, Sagem, Novatel, Telit Kyocera и др.

Фирма Cinterion выпускает высокоскоростные модули HC25, EU3, PH8 [15]. Модуль PH8 — это последняя разработка 2011 г. Модуль предназначен для работы в сетях HSPA+ со скоростями 14,5 Мбит/с («вниз») и 5,7 Мбит/с («вверх»). Он позиционируется как оптимальное решение для высокоскоростных M2M-приложений, таких как потоковое видео на наружных рекламных щитах, мобильные медицинские приборы, контроль транспортных средств, банкоматы и т. п. Модуль изготовлен на базе нового чипсета Qualcomm по технологии 45 нм. Модуль может работать как в обычных GSM/GPRS-сетях, так и в сетях третьего поколения UMTS и HSPA+.

В модуле поддерживаются стандартные диапазоны частот для сетей 2G — G GSM/GPRS/EDGE, 850/900/1800/1900 МГц. Эти параметры одинаковые у всех производителей. Для сетей UMTS/HSPA+ предусмотрено пять частотных диапазонов: 800/850/AWS/1900/2100 МГц. Они разрешены для использования сетями третьего поколения в России. Диапазон частот, поддерживаемых модулем в сетях UMTS/WCDMA/HSPA+, является одним из основных параметров для модулей с поддержкой сетей третьего поколения и на него нужно обращать внимание в первую очередь.

Термином AWS обозначают полосу частот в сетях мобильной связи США и Канады для мобильных сервисов речи, данных, видео и обмена сообщениями. Диапазон AWS использует частоты в двух сегментах: 1710–1755 и 2110–2155 МГц. Важной характеристикой модуля Cinterion PH8 является выходная мощность. Для режимов GSM/GPRS/EDGE этот параметр лежит в пределах 33–26 дБм, что соответствует стандарту 3GPP Release 99. У некоторых производителей (особенно это касается дешевых китайских модулей) потребляемая мощность часто выходит далеко за рамки допустимых значений. При работе в режимах WCDMA/UMTS выходная мощность модуля Cinterion PH8 составляет:

- класс 3 (+24 дБм +1/–3 дБ) на 2100 UMTS, WCDMA FDD BdI;
- класс 3 (+24 дБм +1/–3 дБ) на 1900 UMTS, WCDMA FDD BdII;
- класс 3 (+24 дБм +1/–3 дБ) для UMTS AWS, WCDMA FDD BdIV;
- класс 3 (+24 дБм +1/–3 дБ) для UMTS 850, WCDMA FDD BdV;
- класс 3 (+24 дБм +1/–3 дБ) для UMTS 800, WCDMA FDD BdV.

Этот параметр является одним из показателей качества и может иметь разные значения для модулей разных производителей. Напряжение питания модуля — стандартное для данного класса устройств. Диапазон рабочих температур — –30...+85 °С; допускается ограниченная работоспособность при –40...+95 °С. Следует подчеркнуть, что далеко не все присутствующие на рынке модули поддерживают такие температуры. Если предполагается использование модуля в экстремальных условиях, то этот параметр тоже следует принимать во внимание. Практика показывает, что некоторые модели других производителей перестают работать даже при температурах около нуля.

Массо-габаритные показатели PH8 — 34×50×3 мм, 9,5 г, что весьма существенно для переносной аппаратуры. Внешний вид модуля показан

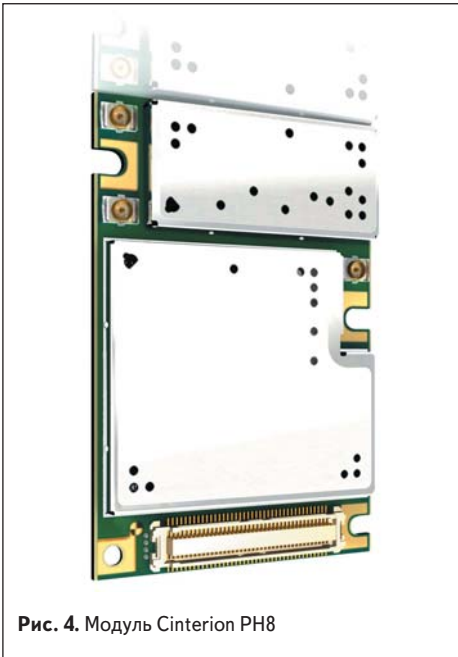


Рис. 4. Модуль Cinterion PH8

на рис. 4. Все электронные компоненты, использованные в нем, полностью соответствуют европейским требованиям об ограничении содержания вредных веществ EU. Как правило, все крупные производители из развитых стран придерживаются этих нормативов.

При работе в сетях с поддержкой только UMTS модуль Cinterion PH8 (в соответствии со стандартом 3GPP Release 4) может передавать данные со следующими скоростями:

- максимальная скорость передачи от БС к модулю и обратно — 384 кбит/с;
- максимальная скорость передачи данных при использовании схемы кодировки GPRS-CS «вниз» и «вверх» — 64 кбит/с.

При работе в режиме HSPA модуль Cinterion PH8 имеет следующие базовые технические характеристики:

- соответствие стандарту 3GPP Release 6, 7;
- максимальная скорость передачи от БС к модулю 14,4 Мбит/с;
- максимальная скорость передачи от модуля к БС 5,7 Мбит/с;
- поддержка категорий мобильного абонентского устройства — от первой до шестой в соответствии со стандартами 3GPP Release 8, 11, 12 (сети Long Term Evolution, LTE);
- сжатый режим (Compressed mode, CM) согласно стандарту 3GPP TS25.212.

Приведенные значения скоростей передачи во многом характеризуют модуль и являются также наиболее значимыми параметрами. Если для режима работы в сетях UMTS модуль PH8 имеет стандартные характеристики, то для сетей поколения 3,5G HSPA в настоящее время он не имеет аналогов в классе устройств, предназначенных для M2M-приложений.

При работе в сетях второго поколения GSM/GPRS/EDGE модуль PH8 обеспечивает хорошие стандартные характеристики, соответствующие уровню, предлагаемому ведущими мировыми производителями:

- GPRS/EDGE: Класс 12, схемы кодировки 1–4, EGPRS, 8 PSK;
- передача данных в режиме CSD: V.110, RLP, непрозрачный, 14,4 кбит/с;
- полная поддержка RBCCH;
- цифровая и аналоговая обработка аудиоданных AMR, EFR, FR, HR;
- поддержка передачи текста в режимах USSD, SMS.

Необходимо подчеркнуть, что в модуле PH8 имеется блок GPS, обладающий следующими параметрами:

- режимы работы — автономный GPS и A-GPS (режим с поддержкой базового сервера);
- протокол обмена NMEA;
- функции A-GPS соответствуют стандартам США E911;
- технология A-GPS соответствует gpsOneXTRA, Qualcomm;

- поддержка спящего режима;
- вывод электропитания для активной антенны;
- одновременная работа с GPS и мобильной связью в сетях 2G/3G.

Технология A-GPS (Assisted GPS) появилась сравнительно недавно. Однако она стала настолько популярной в развитых странах, что практически каждая новая модель телефона или смартфона имеет встроенный GPS-приемник, поддерживающий эту опцию. Для надежной работы GPS-приемник должен находиться в зоне прямой видимости четырех спутников. Однако в условиях городской застройки из-за переотражения сигналов между зданиями, в тоннелях, под мостами и т. п. это условие не всегда выполняется. Кроме того, определение координат с помощью GPS-приемников возможно лишь на открытой местности. Внутри экранируемых зданий и транспортных средств, а также в густом мокром лесу они не работают из-за того, что не хватает мощности спутниковых сигналов.

Перечисленные факторы приводят к значительному увеличению времени, необходимого для вычисления координат. Отмеченные недостатки вызвали необходимость разработки новых технологий. Одной из них является A-GPS (Assisted GPS) — система глобального позиционирования с поддержкой от вспомогательного сервера. Основное отличие этой технологии от традиционной GPS заключается в том, что в A-GPS дополнительно используется внешний сервер поддержки (assistance server). Структурная схема такой сети показана на рис. 5.

При работе в режиме A-GPS мобильный терминал собирает максимально возможное количество данных со спутников и пересылает их в полном объеме через GPRS на вспомогательный сервер A-GPS. Одновременно он проводит предварительную выборочную обработку данных и пересылает результаты

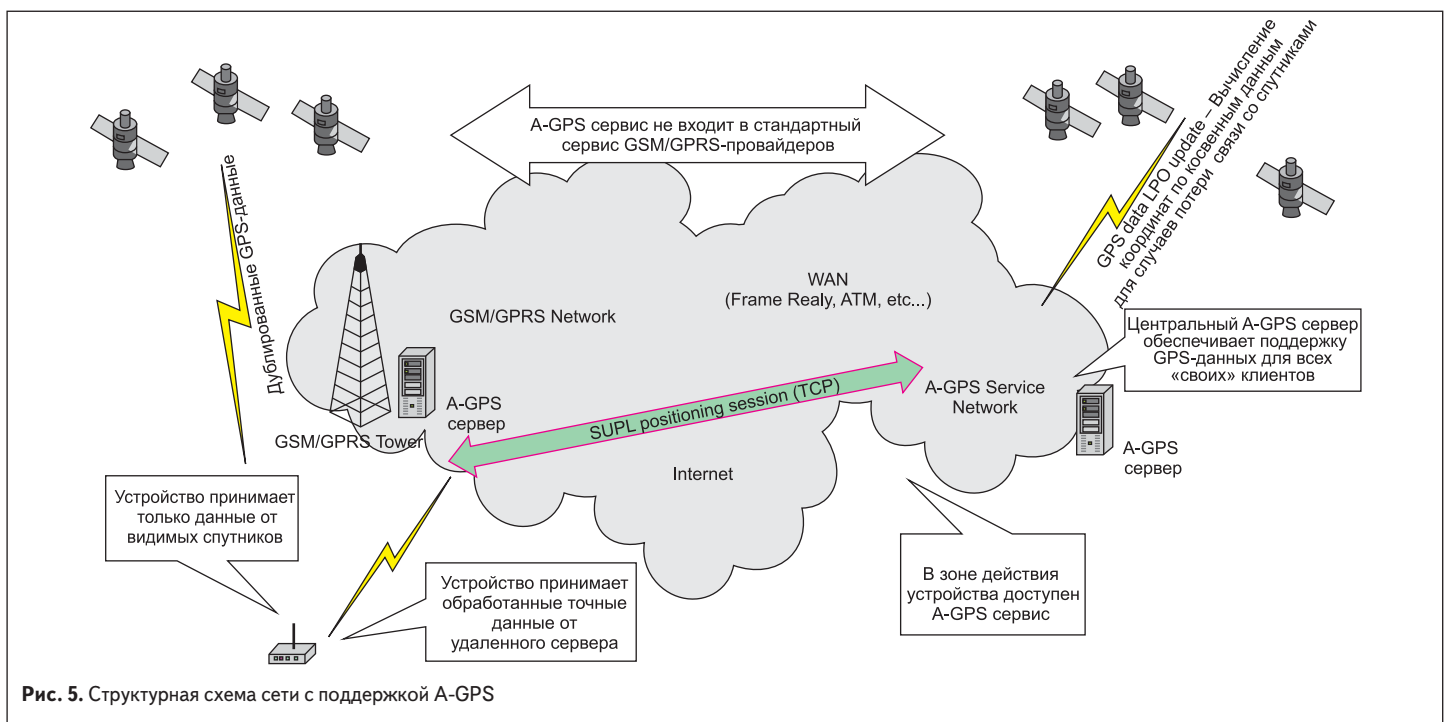


Рис. 5. Структурная схема сети с поддержкой A-GPS

таким же образом. В свою очередь вспомогательный сервер A-GPS проводит обработку данных со спутников и создает файл текущих расчетов. Затем этот файл пересылается через GPRS на мобильный терминал, на котором в результате становятся доступными данные, необходимые для расчетов подробной геодезической информации.

В общем случае на вспомогательный сервер поступает информация со всех GPS-приемников, работающих в данной сети. При этом сервер может быть оснащен своим собственным мощным GPS-приемником и способен выступать в качестве ретранслятора сигнала от спутников. На вспомогательном сервере хранится точная навигационная информация обо всех спутниках, полученная от всех GPS-приемников, находящихся в сети. Благодаря этому для устройств, работающих в режиме A-GPS, значительно сокращается время вычисления координат. Кроме того, устройства с поддержкой A-GPS могут работать в местах, где в прямой видимости нет спутников или сигнал достаточно слабый, например внутри помещений.

Главное преимущество A-GPS — это быстрое получение координат сразу после включения. Модули A-GPS при старте потребляют небольшой трафик, который составляет 5–7 кбайт. При потере сигнала обычно требуется повторная синхронизация, что может привести к повышенным затратам, особенно при нахождении в роуминге. Подобные вспомогательные серверы могут поддерживаться, в основном, на региональных уровнях операторами сотовой связи Alcatel, Nokia и др. В России A-GPS не поддерживается. В принципе, возможна поддержка A-GPS и на локальных корпоративных уровнях. Однако следует учитывать, что минимальная стоимость такого сервера составит сотни тысяч долларов США.

Сегодня в мире эксплуатируется множество сетей A-GPS различного уровня сложности и с различными уровнями дополнительного сервиса. Во многих европейских странах в таких сетях, поддерживаемых оператором сотовой связи, одновременно с определением координат любой пользователь получает возможность загружать карты местности, создавать и сохранять свои маршруты, отправлять их другим пользователям по электронной почте. Также предоставляются возможности поиска объектов на карте и создания маршрута до выбранного объекта с выбором оптимального вида транспорта.

Как отмечалось выше, в модуле PH8 используется базовый чип Qualcomm с поддержкой технологии gpsOneXTRA. Именно этот чип и позволяет реализовать A-GPS. При этом GPS-блок модуля обеспечивает полную поддержку всех опций системы GPS. Приемник работает на стандартных частотах 1575,42 МГц. Время холодного старта составляет 25 с, а время первой фиксации спутника при теплом старте не превышает 10 с. Приемник непрерывно отслеживает все спутники, находящиеся в его «поле зрения», и конвертирует полученную информацию в формат NMEA. Эти данные могут быть переданы через интерфейс ASC0 или USB на любое внешнее устройство.

Управление GPS-каналом осуществляется с помощью специальных AT-команд. К модулю через стандартный высокочастотный разъем можно подключить внешнюю активную GPS-антенну с питанием 3 В. Важное значение для оценки качества модуля имеют интерфейсы для связи с внешними устройствами. Если скорость передачи через интерфейсы ограничена, то ни о какой высокоскоростной мобильной связи говорить не приходится. Модуль PH8 поддерживает спецификацию USB 2.0 High Speed (480 Мбит/с) и USB 2.0 Full Rate (12 Мбит/с).

USB предназначен, прежде всего, для использования в качестве командного интерфейса и для передачи данных. Также он применяется для обновления программного обеспечения модуля, в комплекте с ним поставляется USB-драйвер. Кроме того, в модуле PH8 имеется восьмипроводной асинхронный модемный интерфейс ASC0, соответствующий протоколу ITU-T V.24. Это традиционная для Siemens/Cinterion схема вывода данных через последовательный интерфейс. Данная методика применялась фирмой-изготовителем во всех предыдущих моделях и в новом модуле оставлена без изменений.

Протокол V.24 устанавливает процедуры взаимодействия на физическом уровне двух типов устройств — DTE (Data Terminal Equipment, оконечное оборудование данных) и DCE (Data Circuit-terminal Equipment, оконечное оборудование цепей). Устройство DTE выполняет задачу представления данных пользователю и является оконечным. Оборудование DCE реализует передачу данных в сети и является в этом смысле посредником. В описываемой схеме модуль PH8 используется в качестве устройства DCE для передачи данных оборудованию пользователя DTE. Для низкого (активного) и высокого (неактивного) состояний используются соответственно уровни 0 и 1,8 В. Поддерживается аппаратное управление потоками RTS0/CTS0.

Следует учитывать, что интерфейсы USB и ASC0 могут функционировать только попеременно. Скорость передачи по последовательному интерфейсу ASC0 — 9600–921 600 бит/с. Оба отмеченных интерфейса управляются с помощью AT-команд. Для управления модулем PH8 используются:

- расширенный набор AT-команд для сетей 3G (AT Hayes ETSI);
- базовый набор AT-команд, соответствующий стандартам 3GPP TS 27.007 и 27.005;
- собственные специальные AT-команды Cinterion.

Следует обратить внимание на очень интересную особенность антенных интерфейсов. В модуле PH8 предусмотрено подключение трех антенн: одной GPS и двух GSM/UMTS. Основная — двунаправленная GSM/UMTS, вторая — приемная UMTS. Обе антенны разнесены между собой настолько, что гарантируется минимальная корреляция между ними.

Можно также отметить, что в модуле использован универсальный интерфейс USIM Integrated Circuit Card, поддерживающий чип-карты UICC/SIM/USIM 3; 1,8 В. ■

Литература

1. WCDMA FOR UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications. Third Edition. Nokia, Finland. Copyright # 2004.
2. Ahonen and Barrett (editors). Services for UMTS (Wiley, 2002) first book on the services for 3G.
3. Невдяев Л. Мобильная связь 3-го поколения. М.: МЦНТИ. 2000.
4. ITU-D Study Group 2. Guidelines on the smooth transition of existing mobile networks to IMT-2000 for developing countries (GST). Report on Question 18/2.
5. Kreher and Ruedebusch. UMTS Signaling: UMTS Interfaces, Protocols, Message Flows and Procedures Analyzed and Explained (Wiley 2007).
6. Государственная комиссия по радиочастотам при Министерстве информационных технологий и связи Российской Федерации. Заседание ГКРЧ от 23.10.2006 (протокол № 06-17) «О выделении полос радиочастот 1935–1980 МГц, 2010–2025 МГц и 2125–2170 МГц для радиоэлектронных средств стандарта IMT-2000/UMTS на территории Российской Федерации (решение ГКРЧ 06-17-01-001)».
7. Государственная комиссия по радиочастотам при Министерстве информационных технологий и связи Российской Федерации, решение от 29 октября 2010 г. № 10.
8. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/tsg_ran/TSGR_20/Docs/PDF/RP-030375.pdf.
9. HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications. Nokia Networks. Finland.
10. Лурье С. SDPA vs. WiMAX: сравнение характеристик и перспектив технологий передачи данных. <http://www.ixbt.com/mobile/itogi2006/wimax.shtml>.
11. Spatial and Temporal Fairness in Heterogeneous HSDPA-Enabled, UMTS Networks. Hindawi Publishing Corporation // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009.
12. Дубровский В. Синхронное кодовое разделение: технология будущего. http://www.radioradar.net/articles/scientific_technical/kod_razd.html.
13. Overview of 3GPP Release 6 V0.1.1 (2010-02).
14. http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Uplink_Packet_Access.
15. <http://www.cinterion.com/m2m-advanced.html>.
16. <http://www.mitracon.ru/info/article.php?num=7>.
17. www.mt-system.ru/index.php?id=84789.
18. www.telemetry.spb.ru.
19. Grewal M. S., Weill L. R., Andrews A. P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. Wiley-Interscience. 2007.
20. PH8 Audio Interface Design AN02 V02 (07.01.2011).
21. PH8 Updating Firmware AN16 V02 (07.01.2011).
22. PH8 Using TTY_CTM AN22 V01 (22.12.2010) Power Supply AN26. V04 (12.08.2008).
23. PH8 GPS Antenna Integration AN37 V01 (22.12.2010) PH8 USB Interface AN39 V02 (07.01.2011).
24. PH8 Customizing Applications AN43 V01 (17.12.2010).