

ШИРОКОПОЛОСНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ: IEEE 802.16E

ЧАСТЬ 1: MAC-УРОВЕНЬ



И.Шахнович

Полтора года назад был опубликован документ, известный как стандарт широкополосного мобильного беспроводного доступа IEEE 802.16e. Вкупе с предшественником – стандартом фиксированного широкополосного доступа IEEE 802.16-2004 – он теоретически открывает путь к созданию единых сетей беспроводной передачи информации, которые в перспективе могут стать альтернативой всем современным беспроводным технологиям, включая сотовую телефонию и телевидение. Стандарт этот фактически делает только первые шаги, а про его мобильный вариант речь ведется лишь в будущем времени.

Поэтому стоит подробнее посмотреть, что же предлагает новый стандарт. При этом мы будем основываться на наших предыдущих публикациях [1–4], чтобы заново не рассказывать, что представляет собой стандарт IEEE 802.16 в целом.

В 2004 году появился стандарт беспроводного широкополосного доступа IEEE 802.16-2004 [5]. Тогда казалось, что мир вот-вот шагнет в новую реальность, где пользователю практически в любой точке Земли доступны средства высокоскоростного информационного обмена – от передачи данных до телефонной связи и телевидения. Но вскоре выяснилось, что стандарт – это еще не все. Необходимо выделение частотного ресурса, построение инфраструктуры сетей, немалые усилия по интеграции уже существующих служб, в конце концов – привлечения к новой технологии создателей контента для конечных пользователей. Однако главная проблема заключалась в том, что стандарт IEEE 802.16 был ориентирован на фиксированный доступ – местоположение абонента определялось раз и навсегда. А в 21 веке это уже воспринимается как анахронизм.

Коренным образом изменить ситуацию должны два фактора. Один из них – деятельность международного консорциума WiMAX Forum, объединяющего ведущих производителей телекоммуникационного оборудования и элементной базы (таких как Alcatel, Siemens, Intel и т.п.). Другой фактор – утверждение в конце 2005 года документа IEEE Std 802.16e-2005 (опубликован 28 февраля 2006 года), который называют "стандартом IEEE 802.16e". Такое наименование не совсем точно, поскольку IEEE 802.16e – это набор исправлений существующего стандарта 802.16-2004 и дополнения "Физический и MAC-уровни для совместной мобильной и фиксированной работы в лицензируемых диапазонах" [6]. Именно эти "дополнения" (из-за которых стандарт IEEE 802.16e называют "мобильный WiMAX") и открывают путь стандарту 802.16 в безграничный мир мобильных приложений. В результате он становится серьезным конкурентом технологий сотовой связи третьего и последующих поколений, равно как и других перспективных технологий беспроводного доступа. Собственно, к тому и стремятся те великие компании, которые вкладывают средства в новую технологию, – создать единую общемировую среду широкополосного мобильного доступа. Причем не последовательно расширять пропускную полосу каналов сотовой телефонии, а сразу внедрить инструмент с принципиально иными характеристиками, причем не только по пропускной способности, но и по возможности ее масштабирования. То есть решить проблему кардинально.

Но реальность всегда отличается от речей и презентаций. Как это ни странно, но даже о фиксированных сетях IEEE 802.16 пока больше говорят, чем строят (хотя уже и строят). Однако говорят столь много (а денег вкладывают еще больше), что в ближайшее время количество разговоров должно перейти в качество новых сетей. И действительно, сети фиксированного доступа под управлением IEEE 802.16 уже появляются, и в дальнейшем этот процесс пойдет все активней.

С мобильным стандартом ситуация сложнее. Сам принцип мобильности подразумевает географически протяженную зону (перекрывающую по меньшей мере территорию нескольких стран). И здесь возникает острейшая проблема – частотный



ресурс. О безлицензионных диапазонах (в тех странах, где они есть) речи быть не может, поскольку требуется гарантированное качество предоставляемых услуг. Следовательно, для действительно глобального распространения новой технологии необходима согласованная работа регулирующих органов многих стран. Поэтому форум WiMAX стремится ввести эту технологию в пул стандартов беспроводной связи третьего поколения (IMT-2000) Международного союза электросвязи (ITU), всемирная поддержка которому практически обеспечена.

Кроме того, стандарт 802.16 – это всего лишь спецификация радиointерфейса "точка-точка" (или "точка-многоточка"). Напомним: он затрагивает физический и канальный уровни сети в терминологии модели взаимодействия открытых систем (МВОС). Но глобальная система беспроводного доступа, тем более мобильная, – это сеть, включающая функциональность всех семи уровней МВОС. Проблемами построения таких сетей, их интеграции и стандартизации и занимается консорциум WiMAX.

Кратко рассмотрим, что же предлагает новый стандарт IEEE 802.16e.

МОБИЛИЗАЦИЯ 802.16: НОВОВВЕДЕНИЯ

Понятие "мобильность" относят к двум категориям абонентов – к так называемым номадическим ("кочующим") и к собственно подвижным. Номадические абоненты могут перемещаться в пределах действия сети, но в момент сеансов связи они локализованы (находятся в зоне одного и того же сегмента базовой станции) – например, пользователи ноутбуков, которые могут включить их дома, в офисе, на скамейке в парке и т.п. Подвижные абоненты должны иметь доступ к сети непосредственно в процессе движения (тот же пользователь с ноутбуком в движущемся автомобиле). Если для номадических абонентов важна быстрая регистрация в любой точке сети (в идеале – сети любого провайдера), то обеспечить подлинную подвижность гораздо сложнее. Прежде всего, необходимы процедуры передачи абонента от одной базовой станции (БС) к другой (или между различными сегментами одной БС) так, чтобы сам абонент этого не ощущал. Это – функции так называемой эстафетной передачи (хэндовер).

Кроме того, мобильность абонентов диктует совершенно иные требования к управлению ресурсами сети и к возможности их оперативного перераспределения. Ужесточаются и требования к вторичному использованию частотного ресурса сети. Именно поэтому в новой редакции стандарта значительное внимание уделено возможности пропорционального уменьшения частотной полосы канала, а также технологиям многоканальных антенных систем (MIMO). Для мобильных устройств очень важно снизить энергопотребление, чему способствуют специальные режимы и процедуры нового стандарта.

Основные термины и понятия, не раскрытые в статье

Сервисный поток – поток данных, связанный с определенным приложением. Характеризуется набором требований к каналу связи.

Соединение – логическая связь на MAC-уровне между передающей и приемной станцией для передачи сервисного потока.

Сервисный класс – устойчивый набор параметров канала связи.

Нисходящий (восходящий) поток – поток данных от БС к АС (от АС к БС). В стандарте 802.16e оба эти потока присутствуют в каждом кадре и разделены либо частотно (FDM), либо по времени (TDM).

Карты нисходящего/восходящего каналов DL-MAP/UL-MAP – служебные сообщения в начале каждого кадра, указывающие расположение пакетов в нисходящем/восходящем субканалах кадра для каждой АС.

Дескриптор нисходящего/восходящего каналов DCD/UCD – список профилей пакетов (набор его параметров) в канале.

Режим 802.16 – один из методов передачи: для диапазонов 10–66 ГГц – с одной несущей (SC); в диапазонах ниже 11 ГГц – с модуляцией на основе ортогональных несущих (OFDM) и с разделением каналов посредством ортогональных несущих (OFDMA).

CDMA-код – специальное кодовое сообщение в режиме OFDMA, используемое при запросах канального ресурса у БС.

Помимо собственно мобильности, особое внимание IEEE 802.16e уделяет проблемам качества предоставляемых услуг (QoS). Ведь IEEE 802.16 рассматривается как стандарт для предоставления услуг операторского класса, в том числе – и для мобильных абонентов. Поэтому вопрос QoS для этой технологии играет первостепенную роль.

Кроме того, мобильность автоматически подразумевает усложнение сетевой архитектуры. Если при фиксированном доступе абонентская станция (АС) общается с единственной назначенной ей БС, то мобильная абонентская станция (МС) должна знать свое окружение, общаться одновременно с несколькими БС, переключаться с одной на другую и т.п. Эти требования обусловили появление в стандарте IEEE 802.16е понятий "сервисной БС" и "соседней БС". Сервисная БС для определенной МС – это базовая станция, на которой МС последний раз выполнила процедуру регистрации, при начальном вхождении в сеть или при хэндовере. С сервисной БС абонентская станция работает в обычном режиме. Соседняя БС – это базовая станция, отличная от сервисной, трансляцию с которой (нисходящий поток) способная принять МС.

MAC-УРОВЕНЬ

Изменения и дополнения в документе 802.15е затронули функции физического уровня (Phy), а также подуровня управления контролем доступа к каналу (Media Access Control – MAC) сетевого уровня МВОС. Рассмотрим эти изменения.

Качество обслуживания

На MAC-уровне нововведения и изменения связаны с QoS. Понятие "соединение" (см. врезку) заменено на "транспортное соединение". Сервисный поток (со всеми его свойствами) определяется не для всей сети, а только для обмена между конкретной парой БС–АС. Особо отмечено, что каждому сервисному потоку с идентификатором SFID ставится в соответствие единственное транспортное соединение с уникальным идентификатором CID.

Поскольку мобильность предполагает миграцию абонента между различными сетями, вводится понятие "глобальный сервисный класс". От существовавшего понятия сервисного класса его отличает то, что имя глобального сервисного класса остается единым и постоянным для всех БС, и никакая отдельная БС не может его изменить. Таким образом, глобальный сервисный класс – это инструмент управления

Формат имени глобального сервисного класса

Позиция	Название	Размер, бит
I	Признак восходящего/нисходящего потока	1
S	Максимальная скорость непрерывного трафика (1200–1921000 бит/с)	6
T	Признак привилегированного трафика	1
B	Максимальный размер пакета (1200–1921000 бит)	6
R	Минимальная резервированная скорость	6
L	Максимальная задержка (1 мс – 10 с)	6
S	Признак фиксированной/переменной длины пакетов	1
P	Признак возможности передать мобильной станции пейджинговое сообщение в режиме ожидания	1
R	Резерв	4

QoS в рамках глобальной сети и/или объединения нескольких сетей. Имя глобального сервисного класса представляет собой набор из восьми параметров (плюс один резервный) длиной 32 бита (см. таблицу).

Помимо сервисных классов новый стандарт вводит понятие типов служб доставки данных. В отличие от сервисных классов, тип службы доставки не подразумевает присвоения параметрам соединения каких-либо значений, а лишь обозначает список нормируемых для каждой службы параметров. Названия служб ассоциируются с типом планирования запросов на предоставление ресурсов, более того, у восходящих соединений их названия совпадают. Всего предусмотрено пять типов служб доставки:

- доставка без требования (Unsolicited Grant Service – UGS);
- доставка в реальном времени с переменной скоростью (RT-VR);
- доставка в реальном времени с переменной скоростью и расширенными возможностями (ERT-VR);
- доставка вне реального времени с переменной скоростью (NRT-VR);
- доставка по мере возможности (Best Efforts – BE).

Служба доставки без требования UGS предполагает, что оговоренные ресурсы предоставляются на периодической основе. Она предназначена для приложений реального времени, транслирующих данные с известной фиксированной скоростью. Причем размеры MAC-пакетов могут быть различными. Для UGS нормируются такие параметры, как толерантность к джиттеру, размер блоков данных (если они фиксированы), минимальная гарантированная скорость передачи, максимальная задержка и интервал между сеансами передачи.

Служба RT-VR рассчитана на приложения реального времени, которые требуют передачи данных с гарантированными скоростью и временем задержки. Эта служба предоставляется по запросу, для чего вводится параметр – период запросов. БС регулярно (в соответствии с периодом запросов) выделяет в восходящем канале специальный интервал для запроса дополнительного канального ресурса от конкретной МС. То есть приложению гарантируется не сам требуемый ресурс, а возможность его запросить.

Служба NRT-VR, как и следует из ее названия, необходима для передачи данных с заданной скоростью, но с произвольной задержкой. Для этой службы нормируется минимальная гарантированная скорость передачи данных. Вероятность предоставления запрошенного ресурса зависит от приоритета трафика – от 0 (низший) до 7 (высший). Причем, в отличие от службы реального времени, запрос производится на конкурентной основе.

Служба BE подразумевает остаточный принцип предоставления ресурса. В ней определяются только приоритет трафика.

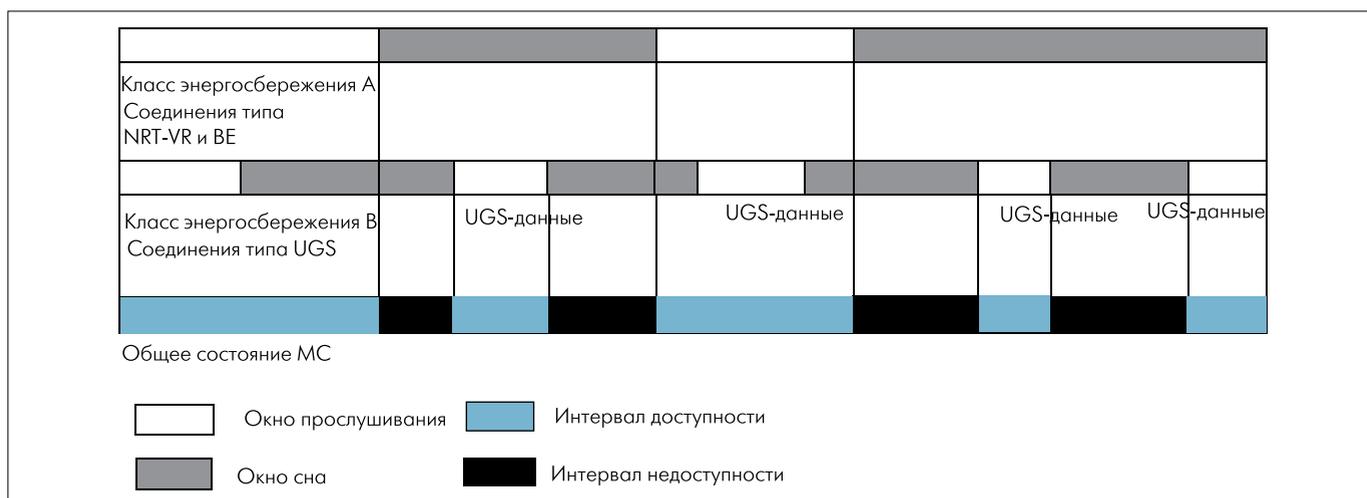


Рис. 1. Пример работы МС с двумя классами энергосбережения

Служба реального времени с расширенными возможностями ERT-VR – это комбинация служб UGS и RT-VR. Типичные ее задачи – высокоприоритетные приложения, требующие гарантированных значений скорости передачи и времени задержки, но характеризующиеся переменной скоростью – например, IP-телефония. Служба ERT-VR, как и UGS, предоставляется без запроса (по расписанию, через заданный интервал), но использует параметр "приоритет трафика".

Спящий режим и ожидание

Для экономии энергии в мобильных станциях, стандарт IEEE 802.16e предусматривает два режима энергосбережения – спящий режима и режим ожидания.

Спящий режим (sleep mode) означает, что МС остается зарегистрированной в сети (в списке абонентов какой-либо БС), но недоступна для приема/передачи. Этот режим не только снижает энергопотребление МС, но и экономит каналные ресурсы базовой станции – "спящую" МС не надо обслуживать. Спящий режим обязателен для поддержки каждой БС и опционален для МС.

Спящий режим МС представляет собой последовательность интервалов сна и прослушивания. Параметры спящего режима связаны с типами соединений (и служб доставки данных), поддерживаемыми МС. Инициация спящего режима, его прекращение, а также определение типа и параметров происходят только по командам и под управлением БС. МС может запросить у БС переход в спящий режим посредством специального сообщения. Переход в этот режим происходит после получения от БС ответного сообщения с подтверждением.

Совокупность параметров спящего режима образует *класс энергосбережения*. Этот класс присваивается одному или группе соединений, имеющих сходные параметры запроса ресурса. Например, соединения типа BE или NRT-VR могут принадлежать одному классу энергосбережения. В то же время, два соединения типа UGS с различными требованиями к каналным ресурсам принадлежат к различным классам.

Если МС поддерживает только соединения, не связанные ни с каким классом энергосбережения, такая МС постоянно активна.

Каждая МС может одновременно поддерживать соединения с несколькими классами энергосбережения. Совокупность окон сна/прослушивания различных классов образует для каждой МС интервалы доступности/недоступности (рис.1). В интервале недоступности БС не может связываться с МС. Поэтому в этот период в мобильной станции могут отклю-

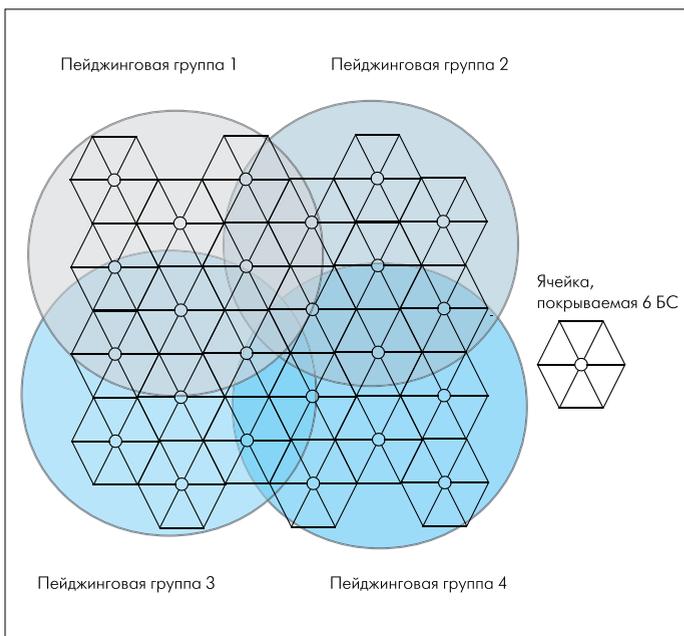


Рис.2. Пейджинговые группы

чатся функциональные блоки приема и обработки данных от БС. Если БС получает адресованные МС данные, когда последняя находится в интервале недоступности, БС может либо буферизировать их для последующей передачи, либо сбросить.

Выход из спящего режима возможен по специальным управляющим сообщениям от БС, по определенным событиям (например, детектирование порогового значения мощности сигнала от БС) или по расписанию. В спящем режиме допустимы определенные периодические процедуры, например ранжирование (определение условий в канале связи и соответствующих параметров сигнала – времени задержки, мощности излучения и т.п.).

Стандарт определяет три типа классов энергосбережения.

Классы энергосбережения типа I рекомендованы для соединений BE и NRT-VR. Особенность этого типа – постоянно удваивающаяся длительность окна сна SleepWin, но до определенного предела $B \cdot 2^E$:

$$\text{SleepWin}(i + 1) = \min(2 \cdot \text{SleepWin}(i), B \cdot 2^E).$$

Параметры начального значения окна сна SleepWin (0), а также B, E, длительность окна прослушивания и номер фрейма, с которого начинается окно сна, базовая станция передает, когда задает класс энергосбережения. Также сообщаются специальные флаги событий, по которым возможно внеочередное "пробуждение".

В активном режиме энергосбережения типа I МС не способна передавать полезные данные или делать запросы на предоставление дополнительных канальных ресурсов. Однако во время интервалов прослушивания возможен прием всего нисходящего трафика, как в обычном режиме.

Классы энергосбережения типа II предназначены для соединений UGS и RT-VR. Для этого типа классов энергосбережения размер окон сна и прослушивания фиксирован

и постоянен. Данные параметры, а также номер фрейма, с которого начинается последовательность окон сна/прослушивания, передаются базовой станцией. В отличие от типа I, в окне прослушивания МС может как принимать, так и передавать полезные данные (в рамках соединений, связанных этим типом классов энергосбережения).

Классы энергосбережения типа III служат для многоадресных соединений или для таких служебных процедур, как периодическое ранжирование, динамическое изменение услуг и т.п. Этот тип подразумевает наличие всего одного окна сна (задается параметрами B и E как $B \cdot 2^E$). По его завершении МС автоматически выходит из спящего режима.

Например, если БС знает периодичность поступления данных для многоадресной рассылки, то на весь этот период (когда данные отсутствуют) БС может назначить МС спящий режим типа III. Данные передаются после его завершения, а затем БС снова активирует спящий режим. Аналогичный подход применим и для прочих периодических процедур.

Режим ожидания (пейджинг) (idle mode) – опциональная функция. В стандарте IEEE 802.16e этот механизм делает МС периодически доступными для широкополосного нисходящего трафика без регистрации в какой-либо конкретной БС. Например, при перемещении МС по географически протяженному району со множеством БС мобильная станция может не передавать информацию и оставаться пассивной, пока БС не вызовет ее специальным сообщением о поступлении трафика в адрес данной МС. Достоинство такого режима – МС не нужно тратить ресурсы и энергию на поддержку процедур хэндовера, сканирования БС через дискретные промежутки времени и т.п. Ждущий режим предоставляет простой механизм для предупреждения МС о направляемом ей нисходящем трафике, причем без дополнительной активности со стороны МС. Поскольку ждущий режим – это фактически система передачи коротких сообщений для МС, местоположение которой точно не известно, его еще называют пейджингом.

Для реализации ждущего режима все БС логически подразделяются на пейджинговые группы (рис.2), обеспечивающие радиопокрытие определенного региона. Пейджинговая группа должна быть достаточно обширной, чтобы большинство МС как можно дольше оставались в ее пределах, и достаточно малой, чтобы перекрытие таких групп было эффективным (не излишним).

Переход в ждущий режим и работа в нем включает несколько шагов: инициацию ждущего режима, выбор ячейки, синхронизацию с БС времени пейджинговых сообщений, установление интервалов для прослушивания (для МС) и передачи (для БС) пейджинговых сообщений, собственно передачу пейджинговых сообщений и прекращение режима пейджинга. Инициация режима возможна после того, как МС передаст специальное сообщение о прекращении регистрации на определенной БС и переходе в ждущий режим.



БС также может послать МС команду о переходе в ждущий режим. После обмена подтверждениями МС переходит в ждущий режим. Однако МС может потребовать у БС (на которой была зарегистрирована) или у контроллера пейджинга (БС с дополнительными функциями) хранить ее сетевые настройки в течение некоторого времени. Это необходимо для быстрого перехода из ждущего режима к нормальной работе. Если по истечении определенного времени БС не обнаруживает в своей зоне МС или мобильная станция остается пассивной (в ждущем режиме), то БС удаляет такую МС из списка зарегистрированных станций.

При переходе в режим ожидания МС должна выбрать БС с наилучшими условиями в радиоканале и зарегистрироваться в ней. После чего МС необходимо синхронизироваться с выбранной БС, принять от нее управляющие сообщения (дескриптор нисходящего канала DCD и карту нисходящего канала DL-MAP), извлечь из этих сообщений размер и номер текущего фрейма и определить время до следующего пейджингового интервала. Пейджинговый интервал определяется длительностью (числом кадров), периодом повторения C , а также смещением P_offset . Номер начального фрейма пейджингового интервала в каждом цикле N_f должен удовлетворять условию $N_f \bmod C = P_offset$, где оператор $x \bmod y$ – остаток от деления x на y .

Пейджинговый интервал – это период прослушивания,

в течение которого МС ожидает пейджинговые сообщения. В остальное время МС может выключить питание или выполнять любые процедуры, не требующие регистрации в сети.

Пейджинговые сообщения – это широковещательные сообщения, включающие идентификатор пейджинговой группы, к которой принадлежит БС-отправитель. Пейджинговое сообщение:

- либо информирует МС о том, что в ее адрес направляются данные,
- либо принуждает МС определить свое местоположение без выполнения всех процедур регистрации в сети,
- либо требует выполнить процедуру регистрации.

В последних двух случаях МС должна подтвердить прием пейджингового сообщения. Если подтверждение не поступает, БС повторяет передачу пейджингового сообщения заданное число раз. Если все они остались без ответа, БС считает мобильную станцию недоступной и извещает об этом все БС данной пейджинговой группы.

МС способна и по собственной инициативе определять свое местоположение в сети, например, если она обнаруживает смену пейджинговой группы или после включения питания. Эта процедура может выполняться и периодически, по специальному таймеру.

Все функции поддержки режима пейджинга в сети реализует специальная базовая станция – контроллер пейджинга.

Она рассылает всем БС специальные сообщения со списками МС, находящихся в режиме ожидания, сохраняет в течение определенного интервала сведения о МС для ее быстрого возвращения в режим нормальной работы, а также извещает БС о повторной регистрации МС в другой точке сети.

Хэндовер

Хэндовер (эстафетная передача, переход МС от одной БС к другой) необходим в ряде ситуаций. Наиболее типичные – при движении МС условия в радиоканале с текущей БС стали ниже допустимых и/или хуже, чем с соседней БС. Либо текущая БС не обеспечивает заданные параметры QoS и ее необходимо сменить на соседнюю. Однако прежде чем МС сможет переключиться от одной БС к другой, ей нужно найти и выбрать новую базовую станцию. Чтобы упростить МС поиск соседних БС, каждая базовая станция, поддерживающая мобильность, периодически рассылает специальное сообщение – анонс соседей (Neighbor Advertisement). В этом сообщении перечислены все соседние БС и их профили, включая режимы работы (например, OFDM или OFDMA, размер БПФ, ширина полосы, номер канала, частотная лите-ра, эквивалентная мощность в антенне и т.п.), особенности процедуры хэндовера для каждой БС, вид поддерживаемых классов сервиса и т.д.

Сервисная БС по запросу от МС назначает ей специальные временные интервалы, в течение которых МС анализирует обстановку на предмет поиска соседних БС для хэндовера. Такие интервалы называют интервалами сканирования.

Интервалы сканирования могут перемежаться с интервалами нормальной работы. При запросе интервалов сканирования МС может перечислить базовые станции (например, из списка, сообщенного сервисной БС), условия связи с которыми она будет анализировать.

При сканировании возможна процедура ассоциирования. Это опциональная функция, которая позволяет МС получить и сохранить физические параметры и свойства QoS опрашиваемых БС. Сохранение этих параметров упрощает и ускоряет хэндовер. Причем сервисная БС в сообщении о предоставлении интервалов сканирования сама может указать базовые станции, с которыми МС должна ассоциироваться (так называемое прямое ассоциирование).

Стандарт определяет три уровня ассоциирования. *Уровень 0* – это обычное (некоординированное) ранжирование. МС во время интервалов сканирования выполняет процедуру ранжирования соседних БС (указанных в запросе на интервал сканирования). При ранжировании МС посылает специальное тестовое сообщение, на которое БС отвечает своим сообщением. При этом МС определяет отношение сигнал/шум в канале, мощность принятого сигнала, время задержки и т.п. Запросы базовым станциям посылаются в заданные интервалы опроса, но на конкурентной основе (как при начальном ранжировании при установлении соединения). Поэтому нет гарантии, что такой запрос дойдет до конкретной БС с первого раза.

Координированное ассоциирование (уровень 1) подразумевает участие в сканировании сервисной базовой станции. Этот уровень может быть реализован как по запросу от МС, так и назначен самой БС. Сервисная БС запрашивает соседние БС об удобном для них времени проведения ранжирования. В ответ соседние БС передают сервисной БС уникальный CDMA-код для запроса ранжирования (для режима OFDMA) и условия передачи запроса (фактически, номер фрейма, в котором конкретная БС передаст карту восходящего канала UL-MAP, где указан нужный момент начала запроса). Эти условия и CDMA-коды сервисная БС сообщает МС, и та уже сама в заданное время общается с соседними БС.

Ассоциирование с уведомлением по сети (уровень 2) похоже на координированное ассоциирование. Но в отличие от уровня 1, МС при ранжировании достаточно передать только CDMA-код и не нужно дожидаться ответа от соседней БС. Все соседние БС, получив запрос, передают информацию о физических параметрах (таких как параметры для коррекции времени отправки сообщения, частоты, уровня мощности передатчика МС, доступные уровни QoS и др.) сервисной БС по магистральной межстанционной сети. Сервисная БС собирает эти данные и передает их МС в одном сообщении.

Сканирование и ассоциирование – это процедуры, предшествующие хэндоверу. Они позволяют сформировать спи-



сок соседних БС и выбрать из них одну для предстоящего переключения. Собственно процедура хэндовера включает несколько стадий:

- выбор ячейки (на основе непосредственного сканирования или ассоциирования);
- решение о начале хэндовера и инициация этой процедуры;
- синхронизация с выбранной БС;
- установление соединения (регистрация);
- разрыв соединения с предыдущей сервисной БС.

Завершение хэндовера МС подтверждает специальным сообщением. МС может прервать процедуру хэндовера в любой момент до отправки финального сообщения.

Важно отметить, что решение о начале процедуры хэндовера способна принять МС, сервисная БС или система управления сетью. Базовая станция может инициировать хэндовер на основе оценки необходимых МС канальных ресурсов и QoS. Эти требования МС соотносятся с возможностями сервисной и соседних БС. Если собственных ресурсов не хватает, а у соседней БС они есть, сервисная БС заставляет МС переключиться на соседнюю БС. Сервисная БС знает о возможностях своих соседей благодаря информационному обмену по магистральной межстанционной сети. Причем БС может предоставить МС такую информацию в ответ на ее запрос о хэндовере.

При установлении соединения с выбранной БС выполняется либо процедура начальной регистрации в сети, либо сокращенная процедура регистрации при хэндовере. Упростить регистрацию можно благодаря тому, что сервисная БС по магистральной сети передает выбранной БС информацию о МС, устанавливающей с ней соединение. При этом удается опустить такие этапы начальной регистрации, как аутентификация, определение ключа для криптозащиты трафика, сам запрос на регистрацию и др.

Мы описали базовую процедуру хэндовера. Однако стандарт предусматривает две опциональные функции – так называемый макро-диверсифицированный хэндовер (Macro diversity handover – MDHO) и быстрое переключение между базовыми станциями (Fast Base Station Switching – FBSS). Все БС, поддерживающие режимы MDHO и FBSS, должны синхронизироваться на основе единого опорного источника и работать в одном частотном диапазоне.

В режиме MDHO МС может одновременно работать с несколькими БС (диверсификация). Каждая из них должна передавать МС одинаковые пакеты. Для этого формируется список БС, способных поддерживать такой обмен с заданной МС, – лист диверсификации (Diversity Set). У каждой БС из одного списка есть вся информация о МС, которую БС получает при начальной регистрации МС (включая аутенти-

фикацию). То есть, если МС зарегистрирована на одной БС, она автоматически регистрируется на всех БС, включенных в список диверсификации.

Среди БС из списка диверсификации одна станция назначается анкерной. Для обмена с несколькими БС мобильная станция должна постоянно принимать управляющую информацию (как минимум, карты нисходящего/восходящего каналов и управляющие заголовки). В режиме MDHO это возможно двумя способами. Первый метод – МС следит только за управляющей информацией анкерной БС. В этом случае сообщения DL- и UL-MAP анкерной БС должны содержать данные о расположении пакетов, адресованных данной МС от всех БС из листа диверсификации.

Второй метод подразумевает, что МС контролирует управляющую информацию всех активных БС из листа диверсификации. Но тогда в картах DL/UL-MAP каждой из них должна быть информация о расположении пакетов других БС. Базовые станции, поддерживающие режим MDHO и входящие в один лист диверсификации, должны работать с общим набором идентификаторов соединений CID. Отметим, что описанный базовый хэндовер – это частный случай MDHO, когда в лист диверсификации входит всего одна БС.

Режим FBSS отличается от MDHO тем, что МС может работать одновременно только с одной БС из списка диверсификации – с анкерной БС. Анкерной станцией может быть любая БС из списка диверсификации. Смена анкерных

станций в режиме FBSS (переключение) происходит очень быстро, поскольку для этого не требуется каких-либо процедур синхронизации и регистрации. Для смены анкерной БС мобильная станция использует либо специальное управляющее сообщение, либо короткое информационное сообщение по специальному каналу быстрой обратной связи.

Групповая и широковещательная передача

Дополнения 802.16e впервые вводят в стандарт IEEE 802.16 понятия групповой (многоточечной, multicast) и широковещательной (broadcast) передачи. Отличия между ними незначительны: в первом случае информация адресована группе МС, во втором – всем МС. Поэтому в стандарте эти понятия практически не разделены, используется единый термин Multicast and Broadcast Service (MBS) – услуга групповой и широковещательной передачи. Сеть может предоставлять сервис MBS в двух режимах – вещание с одной БС или с нескольких БС (групповой MBS). Мобильные станции должны поддерживать оба этих режима. Механизм автоматического повтора отправки не дошедших пакетов (ARQ) при широковещательной передаче не предусмотрен.

Транспортным потокам MBS с заранее заданными свойствами (трафика и QoS) присваивают идентификаторы сервисных потоков и соответствующие CID. МС распознает MBS по этим идентификаторам. Очевидно, что сообщения групповой передачи некоторые МС могут игнорировать (если у них данный CID не определен), в то время как CID широковещательных сообщений должны поддерживать все



МС. Важно, что MBS-сообщения МС могут принимать даже в спящем режиме или в режиме ожидания.

В режиме группового MBS несколько БС образуют специальную группу, всем БС которой присваивается идентификатор зоны MBS. В пределах этой зоны БС и МС должны пользоваться едиными CID для работы в режимах MBS. Все БС этой группы синхронно транслируют MBS-сообщения на одном частотном канале и с одинаковыми идентификаторами. Такой режим повышает вероятность приема ширококвещательных сообщений.

Для того, чтобы получать групповые сообщения, МС должна зарегистрироваться как адресат такого сервиса. Но, в отличие от режима широкого вещания с одной БС, при групповом MBS-режиме регистрация на БС, от которой МС получает ширококвещательное сообщение, не требуется. Более того, МС может быть не зарегистрированной ни в одной БС группы. Достаточно, чтобы она была зарегистрирована в сети как получатель данного сервиса. Информация о МС передается базовым станциям посредством сетевой инфраструктуры. Очевидно, что при этом собственно процедура регистрации получателя MBS-сообщений реализуется на сетевом уровне, т.е. вне рамок стандарта IEEE 802.16, – это уже забота консорциума WiMAX.

Таковы основные особенности мобильного расширения стандарта IEEE 802.16-2004 на MAC-уровне. На физическом уровне отличия также чрезвычайно значимы. Основные из них –

это масштабируемый по числу поднесущих режим OFDMA (Scalable OFDMA) и существенно расширенная поддержка MIMO-технологии. Однако особенности физического уровня в стандарте IEEE 802.16e мы рассмотрим в следующей публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шахнович И.** Сети городского масштаба. Решения рабочей группы IEEE 802.16 – в жизнь! – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2003, №8, с.50–56.
2. **Шахнович И.** Стандарт широкополосного доступа IEEE 802.16 для диапазонов ниже 11 ГГц. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №1, с.8–14.
3. **Шахнович И.** Стандарт широкополосного доступа IEEE 802.16. Режим OFDMA и поддержка адаптивных антенных систем. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №1, с.8–14.
4. **Вишневский В.М., Ляхов А.И, Портной С.Л., Шахнович И.В.** Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005.
5. IEEE Std 802.16–2004. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. – IEEE, 1 October 2004.
6. IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16–2004/Cor 1-2005. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. – IEEE, 28 February 2006.