

Беспроводные системы ПД

Лекция 03 Технология WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) — телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов). Основана на стандарте IEEE 802.16, который также называют Wireless MAN (WiMAX следует считать жаргонным названием, так как это не технология, а название форума, на котором Wireless MAN и был согласован).



Название «WiMAX» было создано организацией WiMAX Forum, которая была основана в июне 2001 года с целью продвижения и развития технологии WiMAX. Форум описывает WiMAX как «основанную на стандарте технологию, предоставляющую высокоскоростной беспроводной доступ к сети, альтернативный выделенным телефонным линиям и DSL». Максимальная скорость — до 1 Гбит/сек на ячейку.

Варианты WiMAX

- **802.16-2004 (802.16d, фиксированный WiMAX или WiMAX^{pre})**. Спецификация утверждена в 2004 году. Используется ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM), поддерживается фиксированный доступ в зонах с наличием либо отсутствием прямой видимости. Пользовательские устройства представляют собой стационарные модемы для установки вне и внутри помещений, а также PCMCIA-карты для ноутбуков. В большинстве стран под эту технологию отведены диапазоны 3,5 и 5 ГГц.
- **802.16-2005 (802.16e, мобильный WiMAX)**. Спецификация утверждена в 2005 году. Является развитием технологии фиксированного доступа (802.16d). Оптимизирована для поддержки мобильных пользователей и поддерживает ряд специфических функций, таких как хэндовер, idle mode и роуминг. Применяется масштабируемый OFDM-доступ (SOFDMA), возможна работа при наличии либо отсутствии прямой видимости. Частотные диапазоны для сетей Mobile WiMAX: 2,3–2,5; 2,5–2,7; 3,4–3,8 ГГц.

Основное различие двух технологий состоит в том, что фиксированный WiMAX позволяет обслуживать только «статичных» абонентов, а мобильный ориентирован на работу с пользователями, передвигающимися со скоростью до 150 км/ч. Мобильность означает наличие функций роуминга и «бесшовного» переключения между базовыми станциями при передвижении абонента (как происходит в сетях сотовой связи). В частном случае мобильный WiMAX может применяться и для обслуживания фиксированных пользователей. WiMAX-системы, основанные на версиях стандарта IEEE 802.16 e и d, практически несовместимы.

Методы ПД в WiMAX

На физическом уровне в стандарте IEEE 802.16-2004 определены три метода передачи данных:

- метод модуляции одной несущей (SC),
- метод ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM),
- метод множественного доступа на основе OFDM (OFDMA).

Спецификация физического уровня WirelessMAN-OFDM является наиболее интересной с точки зрения практической реализации. Она базируется на технологии OFDM, что значительно расширяет возможности оборудования, в частности, позволяет работать на относительно высоких частотах в условиях отсутствия прямой видимости. Кроме того, в нее включена поддержка топологии «каждый с каждым» (mesh), при которой абонентские устройства могут одновременно функционировать и как базовые станции, что упрощает развертывание сети и помогает преодолеть проблемы прямой видимости.

Модуляция OFDM

Метод OFDM является сочетанием модуляции и мультиплексирования. Обычно, мультиплексирование относится к независимым сигналам, произошедшим от разных источников. Поэтому возникает вопрос о том, как разделить спектр частот между этими сигналами. В OFDM задача мультиплексирования применяется для отдельных сигналов, но эти отдельные сигналы являются подмножеством одного основного сигнала. Иногда можно встретить наименование *FDM на нескольких несущих (multi-carrier FDM)*.

При формировании OFDM-сигнала цифровой поток данных делится на несколько подпотоков (каналов), в каждом канале поднесущая модулируется своим подпотоком данных, а затем каналы мультиплексируются для создания OFDM несущей. Амплитуда и фаза поднесущей вычисляются на основе выбранной схемы модуляции.

Согласно стандарту, отдельные поднесущие могут модулироваться с использованием

- бинарной фазовой манипуляции (BPSK),
- квадратурной фазовой манипуляции (QPSK),
- квадратурной амплитудной манипуляции (QAM) порядка 16 или 64.

В передатчике амплитуда как функция фазы преобразуется в функцию от времени с помощью обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ). В приемнике с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) осуществляется преобразование амплитуды сигналов как функции от времени в функцию от частоты.

Одним из главных преимуществ метода OFDM является его устойчивость к эффекту многолучевого распространения. Эффект вызывается тем, что излученный сигнал, отражаясь от препятствий, приходит к приемной антенне разными путями, вызывая межсимвольные искажения. Этот вид помех характерен для городов с разноэтажной

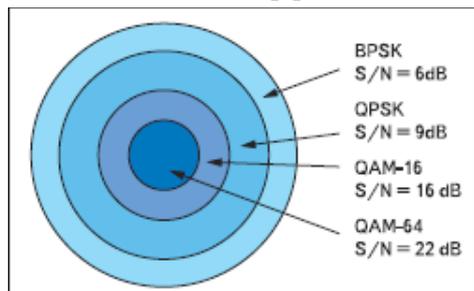
застройкой из-за многократных отражений радиосигнала от зданий и других сооружений. Для того чтобы избежать межсимвольных искажений, перед каждым OFDM-символом вводится защитный интервал, называемый циклическим префиксом. Циклический префикс представляет собой фрагмент полезного сигнала, что гарантирует сохранение ортогональности поднесущих (но только в том случае, если отраженный сигнал при многолучевом распространении задержан не больше, чем на длительность циклического префикса). Кроме того, циклический префикс позволяет выбрать окно для преобразования Фурье в любом месте временного интервала символа.

Помехоустойчивое кодирование

Многолучевое распространение радиосигнала может приводить к ослаблению и даже полному подавлению некоторых поднесущих вследствие интерференции прямого и задержанного сигналов. Для решения этой проблемы используется помехоустойчивое кодирование. В стандарте IEEE 802.16-2004 предусмотрены как традиционные технологии помехоустойчивого кодирования, так и относительно новые методы. К традиционным относится сверточное кодирование с декодированием по алгоритму Витерби и коды Рида-Соломона. К относительно новым — блочные и сверточные турбокоды. Для увеличения эффективности кодирования без снижения скорости кода применяется перемежение данных. Перемежение увеличивает эффективность кодирования, поскольку пакеты ошибок дробятся на мелкие фрагменты, с которыми справляется система кодирования.

Гибкость

Важной особенностью физического уровня является возможность выбора ширины для полосы пропускания канала. Стандарт предусматривает выбор ширины полосы с шагом от 1,25 МГц до 20 МГц со множеством промежуточных вариантов, что позволяет более эффективно использовать радиочастотный спектр.



Кроме того, в стандарт заложена адаптивная сигнально-кодированная конструкция, то есть система подстраивается к характеристикам канала в каждый момент времени, «перекачивая» скорость в помехоустойчивость и наоборот. В соответствии со стандартом, в зависимости от отношения сигнал/шум (S/N) система выбирает метод модуляции, при котором может быть обеспечена устойчивая работа.

Дополнительными инструментами физического уровня для повышения эффективности использования радиоспектра служат измерение качества канала и автоматическое управление мощностью сигнала.

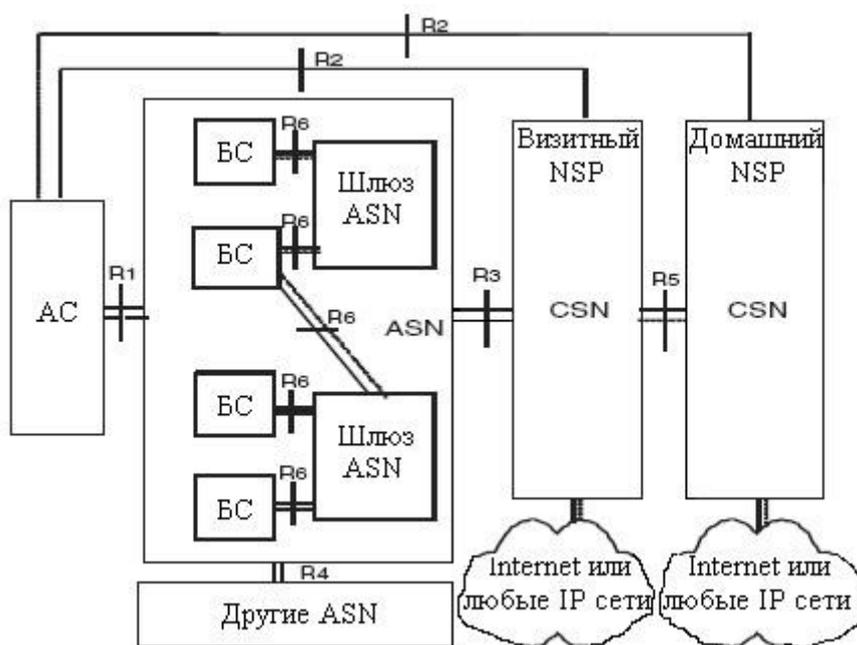
Метод доступа

В стандарте IEEE 802.16-2004 используется технология множественного доступа с разделением по времени (TDMA), согласно которой базовая станция выделяет абонентским станциям временные интервалы, чтобы они могли передавать данные в определенной очередности, а не случайным образом.

Для реализации дуплексного режима обмена данными используются две технологии: дуплексный режим с разделением по времени (TDD) нисходящего и восходящего потоков и дуплексный режим с разделением по частотам (FDD).

Базовая модель сети WiMAX

Спецификации стандарта WiMAX описывают передачу трафика и сигнальный обмен только на радиоинтерфейсе. Относительно соединения БС с Интернетом, сетями беспроводного доступа и сетями сторонних операторов, решения по структуре сети принимает оператор совместно с вендором (поставщиком оборудования). В целях унификации и оптимизации WiMAX Forum предложена базовая структура сети WiMAX — NRM (Network Reference Model) — являющаяся логическим представлением сетевой архитектуры.



NRM подразделяет систему на три логические части:

- Абонентские станции (AC, SS/MS — the Subscriber Station/Mobile Station), используемые клиентами для получения доступа к сети;
- ASN (Access Services Network) — сеть доступа к услугам, являющаяся собственностью оператора доступа к сети (NAP — Network Access Provider); ASN включает одну или несколько базовых станций (БС), которыми управляет один или несколько шлюзов ASN (ASN-GW).
- CSN (Connectivity Services Network) — подсеть оператора, способствующая выходу на IP и другие сети для реализации абонентских услуг. Эта подсеть реализует необходимые коммутационные функции и функции безопасности. Абонента может обслуживать оператор домашней сети NSP (Network Services Provider). Кроме того, абонент может находиться в роуминге. В данном случае его обслуживает оператор визитной сети; при этом осуществляется обмен сигнальной информацией CSN визитного и домашнего оператора.

Функции ASN:

- соединение на уровне L2 с АС;
- поиск и выбор сети, основываясь на предпочтениях абонента о CSN/NSP;
- реализация безопасности: передача информации об устройствах, пользователях и услугах серверу безопасности, временное хранение профилей абонентов;
- создание сквозных IP-соединений между АС и CSN;
- управление радиоресурсом (RRM) в соответствии с классом трафика и требуемым QoS;
- поддержка мобильности, т. е. выполнение процедур хэндовера, локализации и пейджинга.

WiMAX Forum определил различные способы организации ASN, которые получили название профилей. Специфицированы профили А, В, С. Шлюз ASN – это логическое устройство, которое может быть реализовано по-разному. Профиль В ASN представляет простую организацию, которая состоит из БС и шлюза ASN. Профили А и С разделяют функции между БС и шлюзом ASN по-разному, а именно в управлении мобильностью и радиоресурсами.

Функционально БС представляет собой один сектор с выделенным частотным диапазоном, обеспечивающим интерфейс IEEE 802.16e с абонентской станцией. Дополнительные функции, выполняемые БС в обоих профилях, включают распределение для восходящего и нисходящего каналов, классификацию трафика и SFM (управление сервисным потоком). При этом должны быть выполнены требования по QoS для различных классов трафика, передаваемых по радиоинтерфейсу. БС также управляет статусом абонентской станции (активный, неработающий), поддерживает туннельный протокол в направлении к шлюзу ASN, обеспечивает с помощью сервера DHCP динамическими адресами. БС также передает сигнальный обмен, обеспечивая все уровни защиты, предусмотренные стандартом. БС может быть подключена одновременно к двум шлюзам для баланса нагрузки.

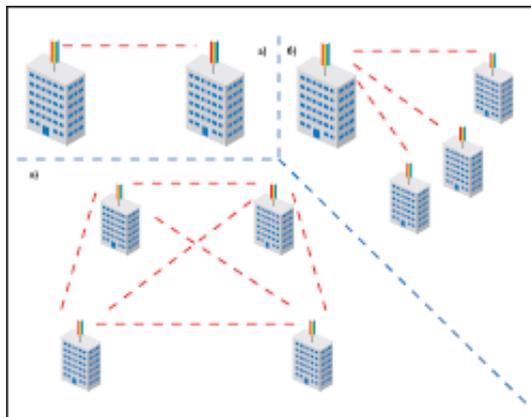
Шлюз ASN – это основной элемент сети. Во время сеансов связи шлюз организует хэндовер абонентов и пейджинг абонентской станции, управляет доступом к сети. Шлюз объединяет трафик и сообщения сигнализации от БС и передает их в сеть CSN. Для любого подсоединенного абонента в шлюзе открыта база данных, включающая профили абонента и ключи шифрования. На шлюз возложены задачи авторизации потока услуг согласно профилю абонентов и QoS. В направлении БС шлюз поддерживает туннельное соединение; в направлении ядра сети (CSN) шлюз осуществляет соединение по стандартному IP протоколу.

Для соединения базовой станции с абонентской используется высокочастотный диапазон радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с, при этом не требуется обеспечения прямой видимости между базовой станцией и приёмником.

Между базовыми станциями устанавливаются соединения (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может

достигать 140 Мбит/с. При этом, по крайней мере одна базовая станция подключается к сети провайдера с использованием классических проводных соединений. Однако, чем большее число БС подключено к сетям провайдера, тем выше скорость передачи данных и надёжность сети в целом.

Топология сети



- Для соединения «точка–точка» используются две направленные друг на друга антенны; так строятся, например, радиорелейные линии передач, в которых расстояние между соседними релейными вышками может исчисляться десятками километров.
- При топологии «точка–многоточка» в центре «ячейки» помещается базовая станция со всенаправленной или секторной антенной, а все обслуживаемые ей абоненты снабжаются сфокусированными на нее направленными антеннами.
- Другой тип связи получится при использовании только всенаправленных антенн. В этом случае будет достигнута возможность соединения «каждого с каждым», или «многоточка–многоточка» (mesh).

Защита информации в WiMAX

В соответствии со стандартом, для предотвращения несанкционированного доступа и защиты пользовательских данных осуществляется шифрование всего передаваемого по сети трафика. БС WiMAX представляет собой модульный конструктив, в который при необходимости можно установить несколько модулей со своими типами интерфейсов, но при этом должно поддерживаться административное программное обеспечение для управления сетью. Данное программное обеспечение обеспечивает централизованное управление всей сетью. Логическое добавление в существующую сеть абонентских комплектов осуществляется также через эту административную функцию.

Абонентская станция (АС) представляет собой устройство, имеющее уникальный серийный номер, MAC-адрес, а также цифровую подпись X.509, на основании которой происходит аутентификация АС на БС. При этом, согласно стандарту, срок действительности цифровой подписи АС составляет 10 лет. После установки АС у

клиента и подачи питания АС авторизуется на БС, используя определенную частоту радиосигнала, после чего БС, основываясь на перечисленных выше идентификационных данных, передает абоненту конфигурационный файл по TFTP-протоколу. В этом конфигурационном файле находится информация о поддиапазоне передачи (приема) данных, типе трафика и доступной полосе, расписание рассылки ключей для шифрования трафика и прочая необходимая для работы АС информация. Необходимый файл с конфигурационными данными создается автоматически, после занесения администратором системы АС в базу абонентов, с назначением последнему определенных параметров доступа.

После процедуры конфигурирования аутентификация АС на базовой станции происходит следующим образом:

1. Абонентская станция посылает запрос на авторизацию, в котором содержится сертификат X.509, описание поддерживаемых методов шифрования и дополнительная информация.
2. Базовая станция в ответ на запрос на авторизацию (в случае достоверности запроса) присылает ответ, в котором содержится ключ на аутентификацию, зашифрованный открытым ключом абонента, 4-битный ключ для определения последовательности, необходимый для определения следующего ключа на авторизацию, а также время жизни ключа.
3. В процессе работы АС через промежуток времени, определяемый администратором системы, происходит повторная авторизация и аутентификация, и в случае успешного прохождения аутентификации и авторизации поток данных не прерывается.

В стандарте используется протокол РКМ (Privacy Key Management), в соответствии с которым определено несколько видов ключей для шифрования передаваемой информации:

- Authorization Key (АК) — ключ, используемый для авторизации АК на базовой станции;
- Traffic Encryption Key (ТЕК) — ключ, используемый для криптозащиты трафика;
- Key Encryption Key (КЕК) — ключ, используемый для криптозащиты передаваемых в эфире ключей.

Согласно стандарту, в каждый момент времени используются два ключа одновременно, с перекрывающимися временами жизни. Данная мера необходима в среде с потерями пакетов (а в эфире они неизбежны) и обеспечивает бесперебойность работы сети. Имеется большое количество динамически меняющихся ключей, достаточно длинных, при этом установление безопасных соединений происходит с помощью цифровой подписи. Согласно стандарту, криптозащита выполняется в соответствии с алгоритмом 3-DES, при этом отключить шифрование нельзя. Опционально предусмотрено шифрование по более надежному алгоритму AES.

Оборудование WiMAX на базе SoC («система на кристалле»)

Современные тенденции развития телекоммуникационного рынка диктуют разработку так называемых System-on-Chip. Под устройствами класса SoC в общем случае понимаются устройства, на едином кристалле которых интегрированы один или несколько процессоров, некоторый объем памяти, ряд периферийных устройств и интерфейсов, — то есть максимум того, что необходимо для решения поставленных перед системой задач. Разработка SoC предполагает оптимизацию разрабатываемой схемотехники, что непосредственно сказывается на потребляемой мощности, площади кристалла и, как следствие, стоимости.

На текущий момент ведущие мировые производители сосредоточились на разработке SoC, в которых интегрированы основные функции физического и MAC уровней стандарта WiMAX. Первые образцы, разработанные на основе спецификации IEEE 802.16-2004, были представлены компаниями Fujitsu, Intel, Sequans Communications, Wavesat и PicoChip. В предлагаемых этими компаниями решениях на физическом уровне используется модуляция OFDM с 256 поднесущими и основная схема кодирования, в которой для внутреннего кода применяется сверточное кодирование и декодирование по алгоритму Витерби, а для внешнего — коды Рида-Соломона.

Функционально оборудование WiMAX разделяется на базовое и абонентское. Первое поколение чипов для базовых станций обладает меньшим уровнем интеграции, чем для абонентских станций. Для реализации MAC-протокола базовой станции требуется увеличение производительности этих решений. Для этой цели используются внешние процессоры, служащие для выполнения верхнего уровня MAC-протокола. Таким образом, чипсеты WiMAX реализуют функции физического уровня и функции нижнего уровня MAC-протокола.

Источники:

1. WiMAX. <https://ru.wikipedia.org>
2. Стандарт WiMAX: техническое описание, варианты реализации и специфика применения / А. Архипкин // Беспроводные технологии. № 3. 2006. <http://www.wireless-e.ru>
3. Учебное пособие по методу Мультиплексирования с Ортогональным Частотным Разделением сигналов (OFDM) / Charan Langton, пер. с англ. А. Бабуров, В. Едренкин. <https://www.scribd.com>
4. Структура сети WiMAX. <http://1234g.ru>

