

# ОБОРУДОВАНИЕ WiMAX –

## РЕШЕНИЕ КОМПАНИИ ALVARION

**В** прошлом номере [1] мы рассказывали об архитектуре сетей WiMAX. Рассмотрим, как эта архитектура реализуется на базе оборудования одного из мировых лидеров в этой области – компании Alvarion. В статье речь пойдет об оборудовании сетей доступа (ASN-шлюзах и базовых станциях) и об абонентских устройствах.

К концу марта 2009 года WiMAX-форум зарегистрировал 94 модели сертифицированного WiMAX-оборудования 36 различных производителей [2]. Хотя в основном этот список содержит оборудование для фиксированного доступа, доля мобильного WiMAX постоянно растет. Широко представлено как базовое, так и абонентское оборудование. Далеко не все компании, представленные в списке [2], выпускают коммерчески доступное оборудование, многие сертифицируют только системный дизайн или "предкоммерческие" образцы.

Из наиболее значимых производителей оборудования для мобильного WiMAX отметим компании Alvarion (BreezeMAX 4Motion), Alcatel-Lucent (серия 97xx), Cisco System (BWX 8305 и BWX 2305), Huawei (DBTS 3900 и WASN9970), Motorola (wi4 WiMAX), Samsung (mobile WiMAX Udicell), ZTE и др. Оборудование большинства из них сертифицировано WiMAX-форумом.

Подробнее рассмотрим построение оборудования мобильного WiMAX на примере базовой и абонентской станций системы BreezeMAX 4Motion израильской компании Alvarion. Система 4Motion – это полнофункциональное решение мобильного WiMAX операторского класса, с открытой архитектурой, позволяющее сопрягать оборудование различных производителей в одной сети. В качестве сетевого профиля, описывающего взаимодействие элементов сети, выбран ASN-профиль C как полностью открытый.

Напомним, архитектура сети WiMAX включает три основных элемента – абонентские (мобильные) станции (МС), совокупность сетей доступа (сервисная сеть доступа, ASN) и совокупность сетей подключения (CSN) [1]. Сеть доступа

ASN включает базовые станции и шлюзы (ASN-шлюзы). Сеть подключения CSN – это наземная IP-сеть оператора WiMAX, именно в этой сети размещены AAA-серверы.

Платформа BreezeMAX 4Motion [3] включает четыре основные составляющие – абонентские станции, базовые станции, шлюзы сети доступа (ASN-шлюзы) и серверы системы управления авторизацией, аутентификацией и доступом (AAA-серверы). Последние представляют собой достаточно стандартные сетевые серверы (производители, которые не имеют своих AAA-серверов, обычно используют оборудование компаний Bridgewater и Cisco), вся их функциональность реализуется программно, поэтому мы не будем останавливаться на них сколь-нибудь подробно. Остальные три элемента обеспечивают прохождение данных пользователя между оконечными устройствами (мобильными станциями, узлами IP-сетей и т.п.) (рис.1).

### ASN-ШЛЮЗЫ

Система BreezeMAX 4Motion может быть реализована с двумя типами ASN-шлюзов: распределенным и централизованным. В случае распределенной модели функции ASN-шлюзов реализуют устройства в составе БС (модуль устройства сетевой обработки NPU) (рис.2а). Такое решение предназначено в первую очередь для сетей малого масштаба, не более 3 тыс. абонентов и до 200 Мбит/с на один ASN-шлюз. Число абонентов в сети можно повысить за счет увеличения числа распределенных ASN GW в WiMAX-сети. Это позволяет постепенно увеличивать сеть (и расходы на ее развертывание). Централизованный ASN-шлюз предназначен для сетей большого мас-

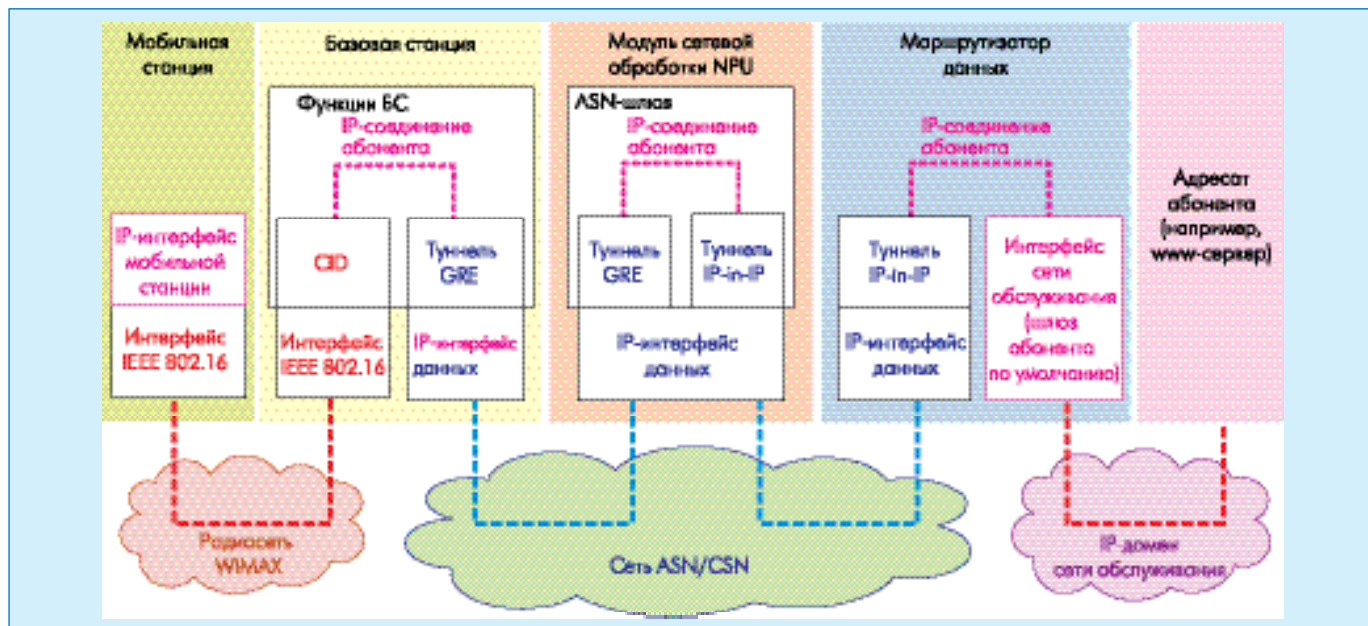


Рис. 1 Схема передачи данных в сети WiMAX на основе оборудования 4Motion компании Alvarion

штаба с сотнями базовых станций и десятками тысяч абонентов внутри сети (рис.2б). Данное решение реализуется, в частности, на маршрутизаторах операторского класса компании Cisco серии 7600 (рис.3).

Применение централизованного ASN-шлюза позволяет довольно просто масштабировать сеть. Оборудование Cisco строится по модульной blade-архитектуре SAMI (Service and Application Module for IP). Один SAMI-модуль позволяет подключить до 100 тыс. абонентов с суммарной пропускной способностью до 5 Гбит/с. Всего blade-модулей SAMI в корзине может быть до шести, а это уже 600 тыс. абонентов и до 30 Гбит/с агрегированного трафика от абонентов. Ну и, конечно, централизованный ASN-шлюз поддерживает набор приложений безопасности, VPN и QoS.

## БАЗОВАЯ СТАНЦИЯ

Базовая станция обеспечивает все необходимые функции для организации соединений по радиоканалу с абонентскими устройствами станции и по каналу GB Ethernet – для подключения к магистральному каналу сети провайдера. Она полностью соответствует всем требованиям стандарта IEEE 802.16 и сертификационным профилям WiMAX. Станция поддерживает режимы масштабируемой OFDMA, т.е. может работать с каналами шириной 20, 10 и 5 МГц (2048, 1024 и 512 формальных поднесущих, соответственно). Поддерживается режим использования неполного набора поднесущих (PUSC-режим) в нисходящем канале.

Базовая станция BreezeMAX обладает модульной архитектурой, что позволяет легко масштабировать систему и воплощать требуемую конфигурацию (рис.4). Оборудование БС построено на основе шасси Compact PCI высотой 8U (рис.5),

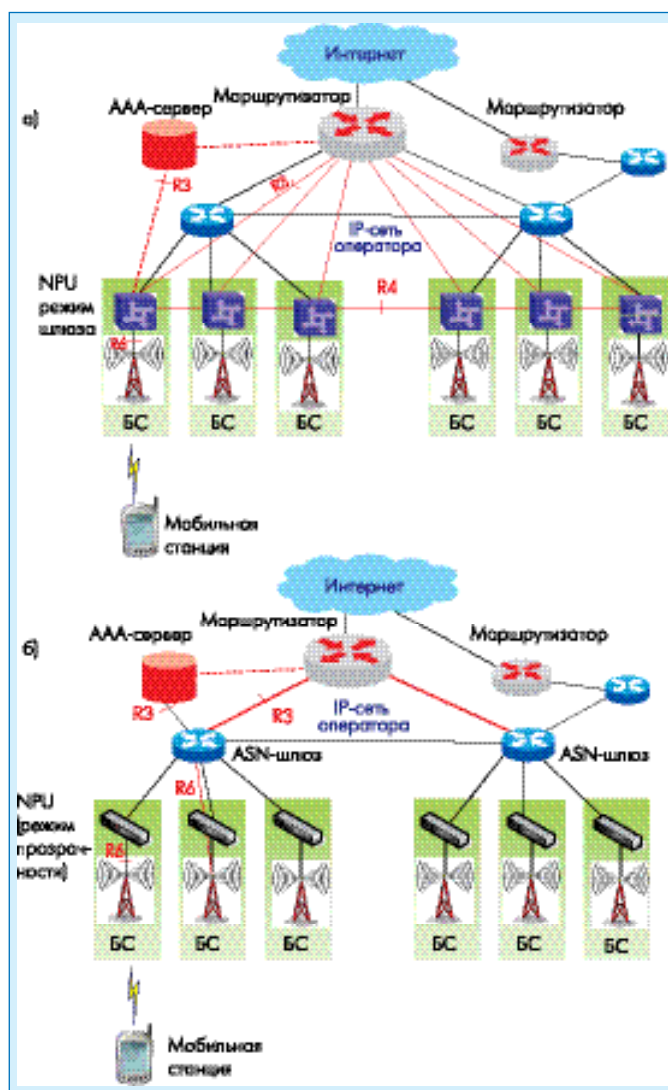


Рис.2 WiMAX-сеть с распределенными (а) и централизованными (б) ASN-шлюзами



Рис.3 Маршрутизаторы серии Cisco 7600

предназначенного для установки инсталляции в 19- или 22-дюймовые стойки. В шасси монтируется девять двойных (6U) и шесть одиночных (3U) слотов. Возможна горячая замена любого модуля, что позволяет заменять отдельные модули, не прерывая работу всей БС. Каждое функциональное устройство может быть резервировано по схеме N+1, т.е. только одно устройство данного типа может быть резервным.

Шесть одиночных слотов предназначены для установки двух модулей интерфейса питания (PIU, Power Interface Units) (основной и резервный) и до четырех модулей источников питания (PSU, Power Supply Unit). Источник питания – это 3U-модуль, выдающий 48 В постоянного тока. Корзина БС может содержать до четырех PSU-модулей. В зависимости от числа устройств доступа необходимо два (до 4 AU) или три модуля источника питания. Еще один модуль PSU используется как резервный.

Интерфейсный модуль PIU (Power Interface Module ) выполняет фильтрацию и стабилизацию тока, подаваемого на БС. Он защищает оборудование БС от проблем с электропитанием (превышение порогового напряжения, скачки электропитания, ошибки полярности подключения, короткое замыкание). Для полной конфигурации БС достаточно одного PIU, однако корзина БС содержит два слота для резервного PIU. При резервировании каждый модуль PIU подключается к отдельному источнику электропитания, и при отключении одного из источников базовая станция продолжает работать от резервного источника питания. Модуль PIU позволяет подать на БС ток до 58 А, что обеспечивает электропитанием до 20 внешних радиоблоков. К ним питание от PIU подается напрямую по соединительным ВЧ-кабелям. Вся базовая станция охлаждается модулем воздушной вентиляции (AVU, Air Ventilation Unit). Он включает 10 вентиляторов, 9 из которых достаточно для охлаждения БС в полной комплектации.

Основные функциональные модули устанавливаются в 6U-слоты. Их два типа – модули сетевой обработки (до двух модулей в корзине) и модули устройств доступа (AU, Access Unit) (до семи модулей). Именно эти устройства обеспечивают всю функциональность БС (рис.6). Управляющим выступает устройство сетевой обработки, которое связывает наземную сеть (Gigabit/Fast Ethernet) и радиосеть (через устройства доступа).

**Модуль сетевой обработки** (NPU, Network Processing Unit) (рис.7) управляет всеми компонентами оборудования

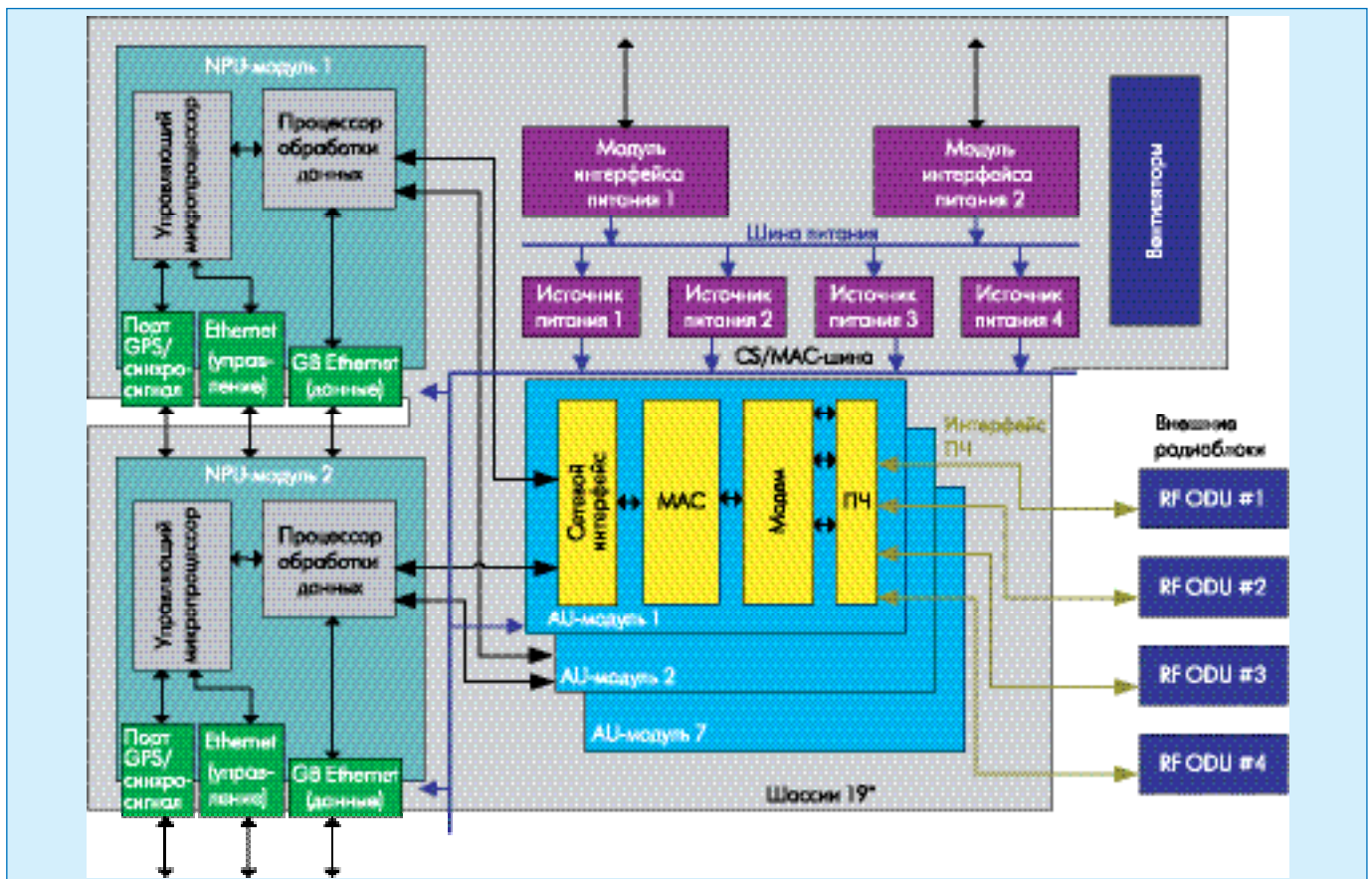
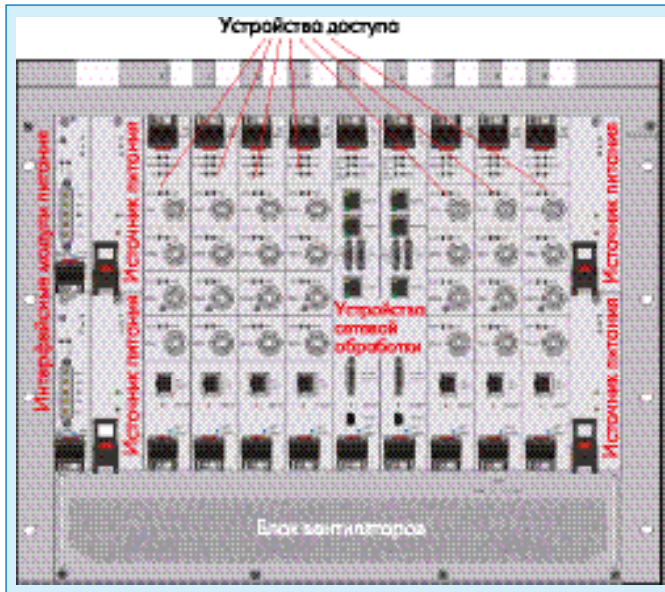
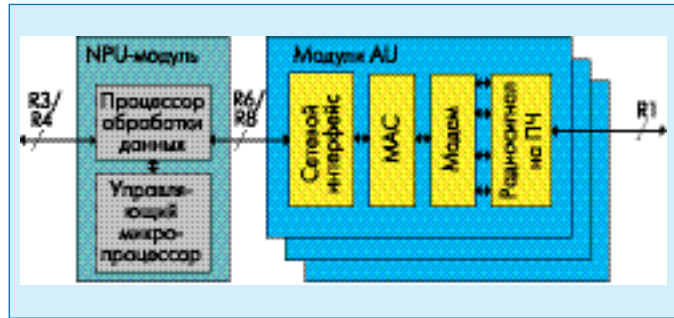


Рис.4 Общая архитектура базовой станции BreezeMAX



**Рис.5** 19-дюймовое шасси базовой станции BreezeMAX со всеми установленными модулями

базовой станции и абонентскими устройствами, обслуживаемыми данной БС. NPU объединяет трафик от модулей устройств доступа и передает его в IP-магистраль через выделенный интерфейс Gigabit/Fast Ethernet. Отдельно формируются Ethernet-потoki данных и управления. NPU реализует общее управление модулями БС, включая управление и диагностику AU, мониторинг состояния источников питания, уп-



**Рис.6** Взаимодействие устройств сетевой обработки и устройств доступа с интерфейсами базовой модели сети WiMAX

равление модулем вентиляторов и поддержку избыточности для резервирования. Он обеспечивает:

- локальное и удаленное управление через интерфейс командной строки CLI (telnet, SSH) и протокол SNMP, включая загрузку программ;
- управление производительностью и выявление неисправностей, управление предупреждениями о неисправностях, включая внешние неисправности и активацию внешних устройств;
- синхронизацию БС, а также всех модулей AU, через спутниковые навигационные системы (GPS/ГЛОНАСС) или посредством часов внутреннего генератора;
- функции безопасности: ограничение пропускной способности, список доступа к управлению и др.

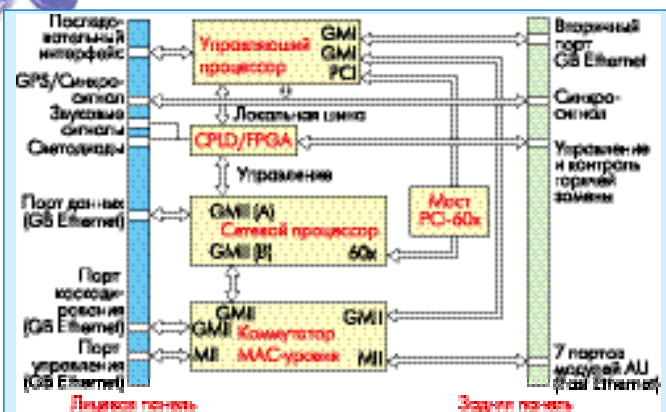


Рис.7 Модуль сетевой обработки

Модуль NPU может работать в двух режимах – прозрачном и в режиме ASN-шлюза. В зависимости от режима, потоки данных и управления прозрачно передаются через NPU или в отдельных случаях инициируются/терминируются этим устройством.

В **прозрачном режиме** используется централизованный ASN-шлюз, на который передается весь трафик через Gigabit/Fast Ethernet (абонентский и управляющий) (через интерфейс R6). Помимо этого, в прозрачном режиме NPU обеспечивает каскадное подключение БС, коммутацию трафика на MAC-уровне, VLAN-инкапсуляцию для внутреннего и внешнего трафика, маркировку пакетов согласно QoS.

В **режиме ASN-шлюза** NPU, помимо перечисленных задач, выполняются функции шлюза сети доступа, а именно:

- аутентификация (EAP, *Extensible Authentication Protocol* – расширяемый протокол аутентификации);
- клиент AAA RADIUS-сервера;
- AAA-клиент биллинга;
- хранение профилей политики подключения абонентских станций;
- авторизация сервисных потоков QoS;
- GRE инкапсуляция/декапсуляция (*Generic Routing Encapsulation* – общая инкапсуляция маршрутов);
- IP-in-IP инкапсуляция/декапсуляция;
- сжатие заголовков передаваемых пакетов;
- DHCP-сервер;
- хендовер;



Рис.8 Наружный радиомодуль AU: а – 1×1, б – 4×2

- разбиение/сборка пакетов;
- реализация интерфейсов R4, R6, R3.

В корзину устанавливается до двух модулей NPU. Их можно резервировать – один из модулей назначается ведущим (Master), а второй – ведомым (Slave). В случае выхода из строя Master-модуля, Slave берет на себя все его функции.

Модули NPU связаны со всеми слотами устройств доступа по каналам Fast Ethernet. Эти семь каналов объединены по топологии "звезда", в центре которой – коммутатор MAC-уровня NPU. Сетевой процессор NPU также подключен к этому коммутатору по каналу GB Ethernet. Если используется резервный NPU, объединительная шина имеет топологию "двойная звезда". Это позволяет каждому NPU получать данные независимо друг от друга.

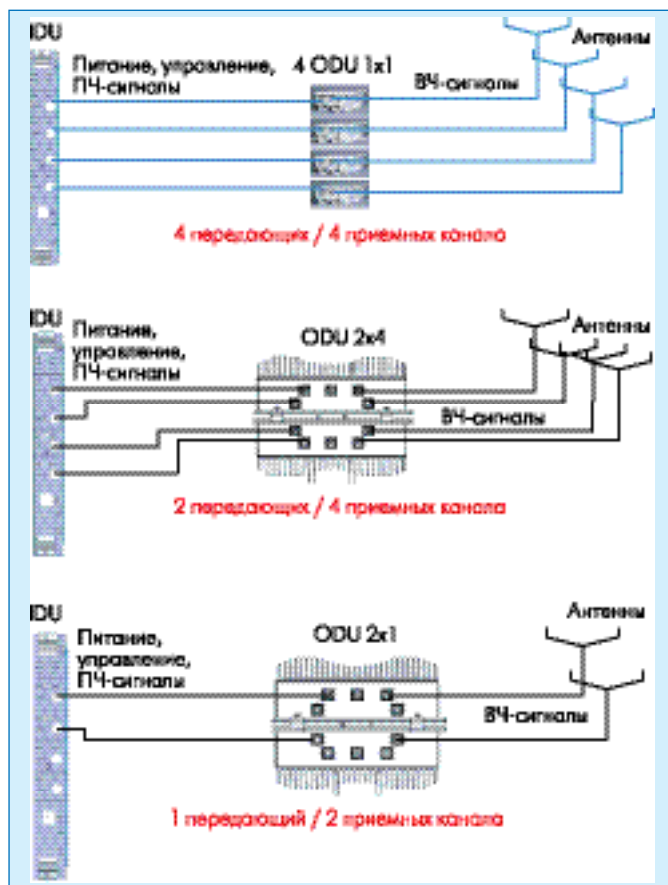


Рис.9 Варианты подключения внешних радиоблоков устройств доступа

Каждый NPU оснащен портом синхронизации. Как и для любой технологии с временным мультиплексированием, для сетей WiMAX необходима синхронизация всего приемопередающего оборудования в сети. Абонентские устройства синхронизируются с БС посредством специальных синхронизирующих последовательностей в преамбулах кадров. Базовые станции в пределах сети могут синхронизироваться только от внешнего источника синхронизации. В качестве такового в платформе BreezeMAX 4Motion используются сигналы спутниковой навигационной системы GPS. GPS-приемники подключаются к NPU через интерфейс RS-422 по кабелю длиной до 100 м.

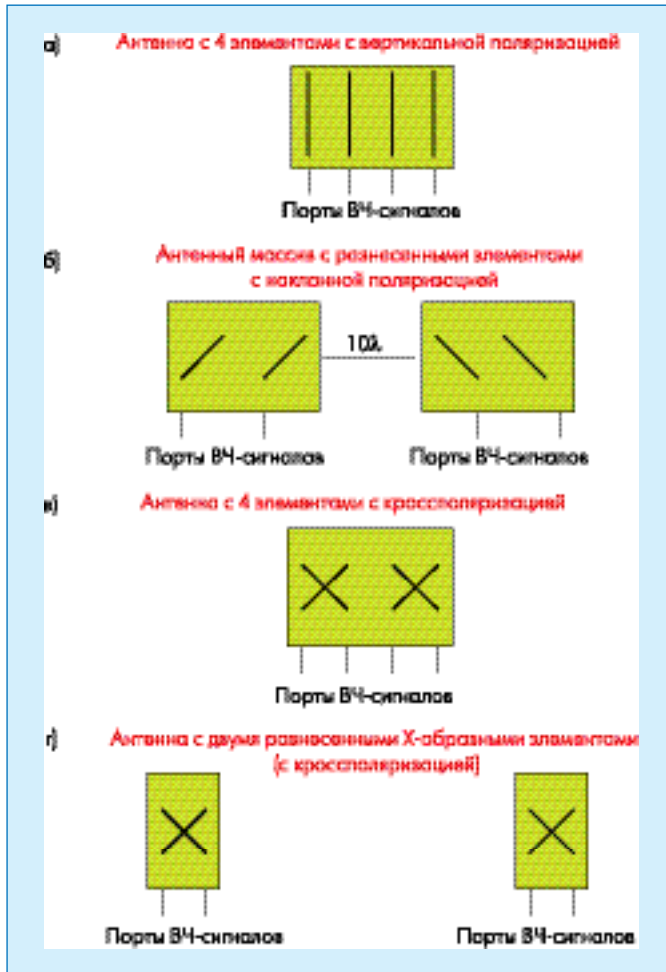


Рис. 10. Варианты антенных массивов для реализации адаптивных антенных систем

**Устройство доступа (AU, Access Unit)** состоит из внутреннего (IDU) и наружного (ODU) модулей. Внутренний модуль IDU (см. рис.6) реализован в соответствии с ASN-профилем С. Он обеспечивает все необходимые функции работы в радиосети в соответствии со стандартом IEEE 802.16e и спецификациями WiMAX. IDU реализует пространственно-временное разнесение приема-передачи, работу с адаптивными антенными системами, гибкую настройку ширины канала (до 20 МГц), управление соединением (подключение к сети, основное согласование совместимости, аутентификация и регистрация, управление), планирование (вычисление возможной выделяемой полосы пропускания для всех типов доставляемых данных), формирование фреймов, управление хендовером, контроль и управление мощностью передачи на абонентских и базовой станциях БС.

Это устройство выполняет такие функции безопасности и контроля доступа, как аутентификация и шифрование трафика, пересылка аутентификационных запросов, получение ключей безопасности. Устройство доступа поддерживает интерфейсы R1, R6 и R8. Одно AU может работать с 512 абонентскими станциями.

В одной корзине БС может быть до шести устройств доступа – соответственно, до шести секторов БС. Седьмой слот используется для резервного IDU.

Внешним входным сигналом для IDU является поток MAC-уровня от NPU по каналу Fast Ethernet. Устройство доступа преобразует его в поток физического уровня в соответствии со стандартом IEEE 802.16 и формирует выходной сигнал на промежуточной частоте (ПЧ) 240 МГц. При приеме данных из радиосети в IDU по тому же ВЧ-каналу поступает сигнал с ПЧ 140 МГц, который IDU преобразует в поток MAC-уровня.

Каждый IDU обладает четырьмя двунаправленными каналами ПЧ для связи с внешними модулями ODU (радиоблоками). Это позволяет реализовать технологию MIMO и формирование диаграммы направленности антенной системы. IDU соединяются с радиоблоками коаксиальным кабелем. Кроме сигналов на ПЧ, в этом кабеле на частоте 14 МГц организован служебный двунаправленный канал контроля и управления. По ВЧ-кабелю также передается напряжение питания (48 В) и 64-МГц сигналы синхронизации часов. Благодаря передаче сигналов по коаксиальному кабелю на промежуточной частоте можно разнести внутренний и внешний блоки устройства доступа более чем на 150 м. Это позволяет монтировать оборудование практически в любых условиях.

Внешний блок AU – это полнодуплексный, многоканальный радиомодуль с высокой выходной мощностью (до 5 Вт). Он может работать в диапазонах 2,3; 2,5 и 3,5; 3,6 и 3,8 ГГц (два последних не разрешены для использования на территории России). Во всех ODU используется временное дуплексирование (TDD). С антенной радиоблок соединяется высокочастотным кабелем длиной до 1,5 м (для кабеля LMR-400, длина кабеля может быть увеличена при использовании кабелей с более низким затуханием).

ODU выпускаются в виде моноблоков в трех исполнениях – один приемник / один передатчик (1×1), два приемника / один передатчик (2×1) и четыре приемника / два передатчика (4×2) (рис.8). Возможны различные варианты подключения ODU к IDU. Так, к одному IDU может подключаться до четырех ODU 1×1 (реализуется схема 4 передающих × 4 приемных канала) или один ODU 2×4 (2 передающих × 4 приемных канала) (рис.9).

## АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Для реализации технологии MIMO (пространственно-временное кодирование по алгоритму Аламути или передача независимого потока по каждому из антенных каналов) или



Рис. 11. Абонентские WiMAX-устройства компании Alvarion



Рис. 12 Наружный модуль PRO CPE

адаптивного диаграммообразования в платформе 4Motion предполагается использовать несколько конфигураций антенн. Так, для формирования независимых потоков в каждом антенном канале предлагается три варианта: разнесенные антенны с различной поляризацией (взаимная поляризация  $90^\circ$ , наклон к горизонту –  $\pm 45^\circ$ ). Антенны должны быть разнесены на расстояние не менее 10 длин волн ( $\lambda$ ). Как правило, для этого используются две двухэлементные антенны с взаимной поляризацией элементов  $90^\circ$ , но подключаются только по одному элементу в антенне. Использование кроссполяризационных антенн с поляризацией  $\pm 45^\circ$  относительно линии горизонта объясняется тем, что при переотражении сигналов изменяется их поляризация.

Второй вариант подразумевает применение X-образной антенны с двумя элементами со взаимно-ортогональной поляризацией. Такая поляризация обеспечивает разнесение каналов не менее чем на 20 дБ. Оба этих варианта позволяют организовать передачу по двум независимым каналам.

Для реализации передачи по четырем каналам рекомендована четырехэлементная антенная система – две X-образные антенны (как в предыдущем варианте), разнесенные друг от друга не менее чем на  $10\lambda$ .

Во всех этих вариантах подразумевается, что каждый антенный элемент формирует луч шириной  $65^\circ$  в азимуталь-



Рис. 13 Абонентское устройство Si: а – на чипсете Весеет, б – на чипсете Intel

ной плоскости и  $7^\circ$  – в вертикальной (по уровню 3 дБ), уровень боковых лучей до -30 дБ в азимутальной плоскости и -17 дБ – в вертикальной.

Для задач адаптивного формирования диаграммы направленности используют антенные массивы из четырех близко расположенных элементов с вертикальной поляризацией (рис.10 а). Однако для смешанных режимов (формирование ДН и MIMO) этот вариант не оптимален. Если требуются совмещенные режимы, предпочтительны варианты на рис.10 б–г. Причем варианты б и в позволяют, помимо формирования ДН, организовать два MIMO-канала, вариант г – четыре канала.

## АБОНЕНТСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

С платформой BreezeMAX 4Motion предлагается несколько вариантов оборудования конечного пользователя (CPE), которые позволяют операторам эффективно обслуживать разнообразных пользователей в деловых и жилых секторах (рис.11). Выпускается четыре варианта CPE: для наружного монтажа – устройства BreezeMAX PRO CPE (с наружным и внутренним модулями), для установки внутри помещений – самостоятельно инсталлируемые устройства BreezeMAX 4Motion Si, а также модемы в формате PC Card и USB Dangle.



Рис. 14 Абонентское устройство в формате PC card

Абонентское устройство **BreezeMAX 4Motion PRO CPE** состоит из внутреннего (IDU) и наружного (ODU) модулей. Наружный модуль (рис.12) содержит все активные компоненты и плоскую интегрированную антенну с высоким усилением. Он выпускается в двух вариантах – на основе чипсетов компаний Intel (RD2) и Весеет. Внутренний модуль соединяется с наружным посредством Ethernet-кабеля 5 категории. Через этот кабель передаются Ethernet-данные, сигналы контроля состояния, управления и сброса от IDU, а также питание (54 В). Внешние модули поставляются на диапазоны 2,3; 2,5 и 3,5 ГГц. Производятся и мультидиапазонные модули с автоматическим определением частоты.

Внутренний модуль PRO CPE доступен с различными конфигурациями сетевых интерфейсов. Подключается к ПК или к сети передачи данных абонента через стандартный IEEE 802.3 Ethernet 10/100-BaseT (RJ 45) интерфейс. Также IDU может включать в себя два (опционально) голосовых порта (RJ-11) для передачи VoIP. Предусмотрен и Wi-Fi модуль (IEEE 802.11b/g) для организации локальной точки доступа.

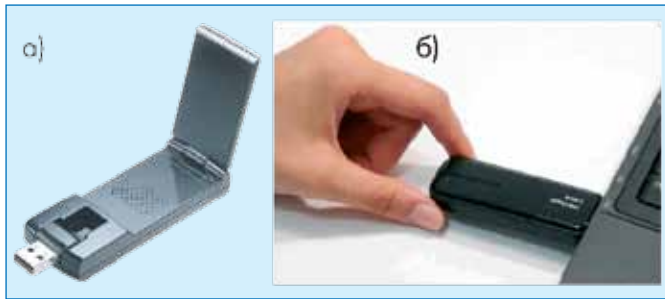


Рис. 15 USB-донглы US210 компании AWB (а) и WU211 компании Quanta computers (б)

Устройство **BreezeMAX 4Motion Si** (рис.13) – это компактное, портативное устройство, устанавливаемое непосредственно конечным пользователем. Оно напрямую подключается к ПК (plug and play) и активируется через SIM-карту или с помощью специального приложения. Так же, как и абонентское устройство PRO, портативная абонентская станция выпускается в двух вариантах – на чипсете Intel RD2 и на чипсете компании Весеет. В первом случае устройство оснащено шестью антеннами, расположенными под корпусом. Устройство на чипсете Весеет оснащено двумя небольшими всенаправленными антеннами.

Выпускается несколько вариантов устройств BreezeMAX 4Motion Si для каждого из диапазонов 2,3; 2,5 и 3,5 ГГц. Все они включают обязательный интерфейс IEEE 802.3 Ethernet 10/100-BaseT (от 1 до 4 портов RJ-45). Опционально устройства оснащаются модулем IEEE 802.11b/g для организации локальной точки доступа, а также голосовым шлюзом для передачи VoIP.

**BreezeMAX 4Motion PC Card** (рис.14) – это сетевой адаптер на чипсете Весеет, позволяющий подключать к сети мобильного WiMAX переносной компьютер. Он выпускается для каждого из диапазонов 2,3; 2,5 и 3,5 ГГц и при ширине канала 10 МГц обеспечивает максимальную скорость в нисходящем канале до 20 Мбит/с, в восходящем – до 7 Мбит/с. Ширина канала задается при конфигурации и может составить 5; 7; 8,75 и 10 МГц. На карте находятся две выдвигающиеся антенны, регулирование положения которых, при необходимости, позволит улучшить прием сигнала. Возможна работа на удалении до 5 км от базовой станции.

На момент написания статьи было известно о нескольких USB-устройствах (донглах), прошедших тест на совместимость с базовыми станциями BreezeMAX 4Motion. Среди них – устройство US210 компании AWB и WU211 компании Quanta computers (рис.15).

Устройство US210 – это WiMAX USB-адаптер для ПК. Адаптер полностью соответствует стандарту IEEE 802.16e и поддерживает мобильное беспроводное соединение на скорости до 130 км/ч. Устройство устанавливается и настраивается конечным пользователем, пиковая скорость в нисходящем канале – до 33 Мбит/с, в восходящем – до 7 Мбит/с. Работает в частотных диапазонах 2,3; 2,5 и 3,5 ГГц. Мощность передатчика – 23 дБм, усиление антенны – 2 дБ от изотропной мощ-

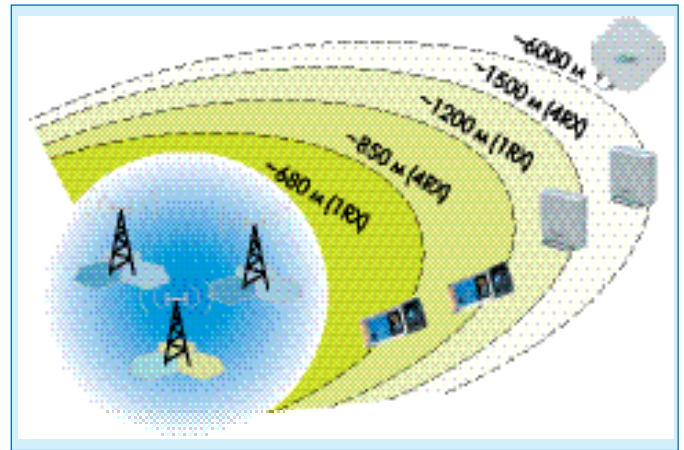


Рис. 16 Типовые зоны обслуживания для различных абонентских устройств

ности. Благодаря одной передающей и двум приемным антеннам US210 поддерживает MIMO-технологии. Энергопотребление – 2,4 Вт при мощности в антенне 23 дБм.

WiMAX-адаптер WU211 от Quanta computers аналогичен рассмотренному выше устройству. Он работает в диапазоне 2,496–2,69 ГГц. Максимальная выходная мощность на антенне: 23 дБм  $\pm$ 1 дБ, усиление антенны – 2 дБ от изотропной мощности.

Зона покрытия БС зависит (рис.16) не только от мощности передачи БС и абонентского устройства, но и от типа абонентского устройства, в также условий работы (рельеф и тип застройки). Существенно влияют на дальность работы и условия видимости. При прямой видимости теоретическое ограничение дальности составляет 54 км, практически удавалось получать устойчивую связь с пропускной способностью порядка 3 Мбит/с на расстоянии 30 км от базовой станции с использованием внешнего абонентского устройства с направленной антенной.

Опыт эксплуатации оборудования 4Motion в сети WiMAX "Комстар" показал, что в городе зона действия одного сектора БС при приеме на антенну WiMAX USB-адаптера вне прямой видимости может составлять 300–1500 м, а при прямой видимости – до 6 км. Такие значения дальности объясняются несимметричностью восходящего и нисходящего каналов: если со стороны БС используются антенны с высоким коэффициентом усиления (15–17 дБи) и передатчика мощностью до 5 Вт, то на абонентском устройстве коэффициент усиления всенаправленных антенн 3 дБи, а мощность передатчика – до 200 мВт.

Следует отметить, что все описанное оборудование сертифицировано и в России. Сейчас на территории РФ и СНГ это оборудование, помимо компании "Комстар", тестируется еще несколькими операторами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шахнович И. Архитектура сети WiMAX: основные элементы и принципы. – Первая мила, 2009, №1, с.6–15.
2. [www.wimaxforum.org/productshowcase](http://www.wimaxforum.org/productshowcase).
3. [www.alvarion.com](http://www.alvarion.com).