

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ



СЕТИ ДОСТУПА

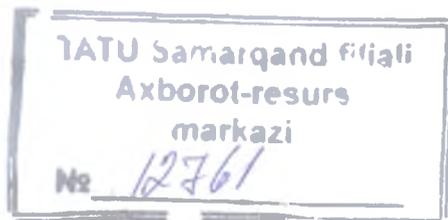


А. В. Росляков

А. В. Росляков

СЕТИ ДОСТУПА

*Рекомендовано УМО по образованию
в области телекоммуникаций в качестве
учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
подготовки дипломированных специалистов
210400 – «Телекоммуникации»*



Москва
Горячая линия – Телеком
2008

УДК 621.395.7

ББК 32.88

P74

Рецензенты:

зав. кафедрой Инфокоммуникаций ИПК МТУСИ, канд. техн. наук *Н. С. Мардер*;
нач. цеха ТЦЭ Самарского филиала ОАО «ВолгаТелеком» *Ю. А. Кокиши*

Росляков А. В.

P74 Сети доступа. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2008. – 96 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0018-9.

Рассмотрены вопросы построения современных сетей доступа и модернизации существующих сетей, а также приведена классификация необходимых для этого современных проводных и беспроводных технологий. Наибольшее внимание в пособии уделено самым востребованным в настоящее время широкополосным технологиям цифровых абонентских линий xDSL.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 210400 – «Телекоммуникации», может быть полезно специалистам.

ББК 32.88

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Росляков Александр Владимирович

СЕТИ ДОСТУПА

Учебное пособие для вузов

Редактор Ю. Н. Рысев

Компьютерная верстка Ю. Н. Рысева

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 24.08.2007. Печать офсетная

Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 6..

ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия–Телеком»

Отпечатано в ООО «Типография Полимаг» 127242, Москва, Дмитровское шоссе, 107, Заказ №127

ISBN 978-5-9912-0018-9

© А. В. Росляков, 2008

© Оформление издательства
«Горячая линия–Телеком», 2008

Предисловие

Уже несколько лет во всем телекоммуникационном мире идет бурное обсуждение концепции сетей следующего поколения (NGN). Наибольшее внимание при этом уделяется транспортной основе, при этом почти не рассматривается проблема сетей доступа. Но согласно структуре сети следующего поколения, именно сеть доступа занимает в ней одно из важнейших мест.

В настоящее время подавляющее число сетей доступа построены по принципам десятилетней давности и рассчитывались для телефонии. Они не приспособлены для высокоскоростной передачи данных, а, следовательно, не удовлетворяют требованиям NGN. Применение современных технологий (например, xDSL) позволяет продлить жизнь существующим сетям доступа в эпоху NGN. При строительстве новых сетей доступа применяются новые технологии и методы.

Наличие значительного объема материалов по отдельным технологиям, с одной стороны, и отсутствие учебно-методической литературы по тематике сетей доступа – с другой, затрудняет подготовку специалистов, способных грамотно решать проблемы построения сетей доступа, соответствующих требованиям настоящего времени.

В учебном пособии рассматриваются вопросы построения современных сетей доступа и модернизации существующих сетей доступа, а также приводится классификация современных проводных и беспроводных технологий, применяемых при этом.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 210400 – Телекоммуникации, а также может быть полезно специалистам, занимающимся эксплуатацией современных сетей доступа.

Автор

Глава 1. Современное состояние сетей доступа

1.1. Принципы построения сетей доступа

В подавляющем большинстве случаев операторы телефонной сети общего пользования (ТфОП) эксплуатируют сети доступа, построенные по принципам, которые были разработаны несколько десятилетий назад [1, 2, 3]. Эти принципы существенно различаются для городских (ГТС) и сельских (СТС) телефонных сетей. Общим для существующих ныне сетей доступа на ГТС и СТС является то, что они, как правило, представляют собой совокупность абонентских линий (АЛ).

В сетях доступа, используемых в российских городах, преобладают многопарные кабели связи с медными жилами. Оборудование систем передачи используется редко. В сетях доступа, построенных в сельской местности, около 15% АЛ образованы неизолированными проводами, которые подвешены на столбах. В некоторых северных и северо-западных районах европейской части России, а также Сибири, эта величина может достигать до 50%, но в степных районах используются преимущественно кабельные линии связи. В некоторых случаях (единицы процентов) применяются абонентские малокабельные системы, которые позволяют уплотнить абонентскую линию для передачи нескольких (как правило, от 2 до 4) телефонных разговоров одновременно. Беспроводные технологии в сетях доступа (и на ГТС, и на СТС) стали применяться только в последние годы. Типовая структура сети доступа на ГТС приведена на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Структура сети доступа на ГТС

Она включает следующие элементы: абонентский комплект (АК) и кросс коммутационной станции, шкаф кабельный распределительный (ШР), распределительную коробку (РК) и телефонный аппарат (ТА). В помещении коммутационной станции расположены кросс и стойки АК. Между ними проложены многопарные кабели, образующие станционный участок сети доступа. Кабели, выходящие из кросса, могут включаться в ШР или непосредственно в РК, которые расположены в зданиях организаций либо жилых домов. В последнем случае принцип построения сети доступа называют бесшкафным, а территория, где этот принцип используется, – зоной прямого питания (ЗПП). В ШР осуществляются кроссировки различных кабелей, что позволяет экономично строить сеть доступа. С другой стороны, использование ШР снижает надежность сети доступа и ухудшает показатели качества передаваемой информации. Участок сети доступа между кроссом коммутационной станции и ШР называется магистральным. Распределительный участок сети доступа расположен между ШР и РК. Пространство между РК и ТА занимает последний участок сети доступа – абонентская проводка. На рис. 1.2 приведена типовая структура сети доступа на СТС. Она включает следующие элементы: АК, кросс коммутационной станции, кабельный ящик (КЯ), вводно-выводные изоляторы, абонентское защитное устройство (АЗУ) и ТА. На столбе, ближайшем к помещению абонента, устанавливается КЯ с вводно-выводными изоляторами. Назначение этих изоляторов – защита воздушных линий связи от посторонних токов и напряжений. АЗУ выполняет аналогичные функции для конкретной АЛ.

Переход к цифровым коммутационным станциям почти не изменил принципов построения сетей доступа. Это положение, как правило, связано с двумя основными причинами. Во-первых, при замене старого аналогового оборудования на цифровую коммутаци-

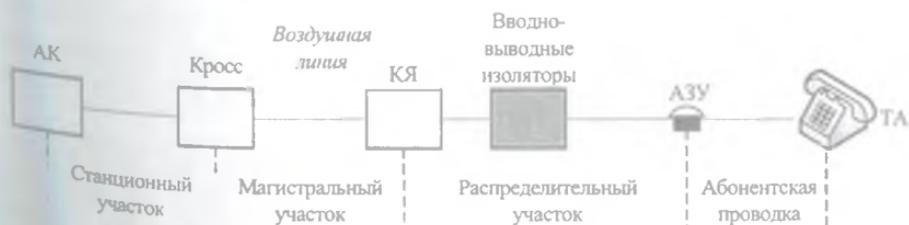


Рис. 1.2. Структура сети доступа на СТС

онную станцию часто не ставилась задача модернизации сети доступа. По крайней мере, не изменялись границы участка сети доступа к станции. Во-вторых, финансовые возможности Оператора не позволяли существенно изменить сеть доступа даже в тех случаях, когда необходимость такого решения была очевидна. Ориентация большинства Операторов ТФОП на поддержку традиционных услуг телефонной связи не стимулировала каких-либо существенных изменений в сетях доступа. Тем не менее, использование ресурсов ТФОП для передачи данных (ПД) через модемы выявило ряд проблем, свойственных сетям доступа.

За рубежом часто используется термин «последняя миля» для обозначения совокупности технических средств сетей доступа, через которые оборудование абонента подключается к коммутационной станции.

1.2. Основные характеристики сетей доступа

Характеристики сети доступа целесообразно анализировать с двух точек зрения [1, 2, 3]. Во-первых, должны быть рассмотрены электрические параметры АЛ, определенные соответствующими руководящими документами (РД), которые утверждены Администрацией связи России. Во-вторых, необходимо изучить структурные характеристики эксплуатируемых в настоящее время сетей доступа.

Электрические параметры АЛ нормируются отраслевыми стандартами (ОСТ), утвержденными Администрацией связи России. Для ГТС электрические параметры АЛ с металлическими жилами определены в ОСТ 45.82-96 (Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами). Значение затухания цепей АЛ на частоте 1000 Гц не должно быть более 6,0 дБ для кабеля с диаметром жил 0,4 и 0,5 мм. Для кабеля с диаметром жил 0,32 мм эта величина не должна превышать 5,0 дБ. Следует отметить, что в новых проектах возможность применения кабеля с диаметром жил 0,32 мм исключена. Это обусловлено низкими эксплуатационными характеристиками такого кабеля и существенными сложностями его монтажа.

Значение переходного затухания между цепями АЛ на ближнем конце на частоте 1000 Гц не должно быть менее 69,5 дБ. Значение асимметрии сопротивлений жил АЛ постоянному току не должно быть более 0,5% от сопротивления цепи.

Величины сопротивления АЛ и ее емкости определены ОСТ 45.54-95 (Стыки оконечных абонентских телефонных устройств и автоматических телефонных станций. Характеристики и параметры электрических цепей и сигналов на стыках). Сопротивление жил АЛ постоянному току не должно превышать 1200 Ом (2x600 Ом). Рабочая емкость жил АЛ не должна быть более 0,5 мкФ.

По мере роста срока эксплуатации кабелей могут изменяться некоторые параметры АЛ. В табл. 1.1 приведены значения электрических характеристик АЛ с учетом срока их эксплуатации.

Для СТС электрические параметры АЛ с металлическими жилами определены в ОСТ 45.83-96 (Сеть телефонная сельская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами). Значение затухания цепей АЛ на частоте 1000 Гц, как и для ГТС, не должно быть более 6,0 дБ для кабеля с диаметром жил 0,4 и 0,5 мм. Аналогично, для кабеля с диаметром жил 0,32 мм эта величина не должна превышать 5,0 дБ.

Таблица 1.1

Электрические характеристики АЛ с учетом срока их эксплуатации

Абонентская линия	Сопротивление изоляции жил, МОм			Рабочая емкость, нФ/км		
	5 лет	10 лет	15 лет	5 лет	10 лет	15 лет
ТПП	1000	500	200	50	55	60
ТГ	1000	500	200	52	55	60
ТППЗ	1000	800	500	50	50	55

Сопротивление жил АЛ постоянному току не должно превышать 1200 Ом (2x600 Ом). Рабочая емкость не должна быть более 1,0 мкФ. Значение переходного затухания между цепями АЛ на ближнем конце на частоте 1000 Гц не должно быть менее 69,5 дБ.

Значение асимметрии сопротивлений кабельных жил АЛ постоянному току не должно быть более 0,5% от сопротивления цепи. Для воздушных цепей, широко используемых в СТС для построения сетей доступа, устанавливаются следующие значения асимметрии сопротивлений: 5 Ом для проводников из цветных металлов и 10 Ом для проводников из стали. Следует отметить, что в сельских сетях доступа иногда (около 3% всех случаев) эксплуатируются

АЛ, параметры которых не укладываются в приведенные выше нормы.

Все существующие сети доступа (в городах и в сельской местности) проектировались для телефонной связи. Соответственно, полоса пропускания определялась требованиями к каналу тональной частоты (ТЧ). В некоторых кабелях абонентской сети одна или более цепей арендуются. Арендруемые цепи могут использоваться для передачи информации постоянным током или наоборот – в спектре частот выше полосы пропускания канала ТЧ. Это может породить проблемы при попытках использования оборудования абонентских систем передачи, включая аппаратуру цифровых абонентских линий xDSL.

Под структурными характеристиками здесь и далее понимают средние значения длин АЛ и емкости абонентских кабелей. Эти средние значения были получены в результате обработки реальных проектов сетей доступа, которые были реализованы в различных регионах России.

Методами математической статистики было показано, что полученные результаты хорошо соответствуют характеристикам, свойственным российским сетям доступа.

Среднее значение длины АЛ в российских ГТС составляет 1280 м, а коэффициент вариации этой величины – 0,59. Средняя длина АЛ для российских ГТС существенно меньше аналогичной величины для большинства стран. Этот факт объясняется рядом причин. Основной, по всей видимости, можно считать специфику градостроительных принципов.

Распределение длин различных участков АЛ имеет следующий характер: магистральный участок – 74,7%, распределительный участок – 20,2%, абонентская проводка – 5,1%. Эти данные хорошо коррелируются с теми оценками, которые присущи зарубежным сетям доступа.

Анализ величин, касающихся емкости абонентского кабеля, проводился по тем же проектам. Среднее значение емкости магистрального кабеля составило 761 пару, а коэффициент вариации этой величины равен 0,42. В настоящее время наблюдается рост емкости кабелей абонентской сети, так как двадцать лет назад средняя емкость магистрального кабеля составляла 400 пар при коэффициенте вариации, равном 0,59.

1.3. Проблемы, характерные для сетей доступа

Формальный анализ структурных характеристик сетей доступа в России позволяет сделать следующий вывод: более короткие (чем в большинстве стран) АЛ позволяют сравнительно просто применять оборудование абонентского уплотнения (например, аппаратуру цифровых абонентских линий типа xDSL), равно как и другие современные технические средства. На практике дело обстоит иначе. Условия эксплуатации большинства абонентских кабелей не позволили сохранить в заданных нормах те характеристики, которые существенны с точки зрения передачи сигналов, требующих более широкой полосы пропускания по сравнению с той, что обеспечивается каналом ТЧ. Кроме того, устройства кроссировки кабельных жил в ШР и РК вносят искажения в передаваемые сигналы, которые особо заметны за пределами полосы пропускания канала ТЧ. Непредвиденные сложности возникли у операторов связи из-за резкого всплеска актов вандализма и хищения воздушных линий и кабелей связи. Большой спрос «черного рынка» на цветные металлы стимулировал кражу линейных сооружений связи. Особенно сложно предотвращать попытки хищения в сельской местности. Также сложной проблемой стал несанкционированный доступ к АЛ для проведения за счет другого абонента междугородных или международных переговоров, получения платной информации, доступа в сеть Интернет. В ряде случаев, абоненты, к которым подключились «телефонные пираты», и операторы связи вынуждены решать возникающие проблемы в судах различного уровня. Практически в каждом случае применения оборудования абонентских систем передачи (включая аппаратуру цифровых абонентских линий типа xDSL) необходимо проводить измерения абонентских кабелей [1, 2, 3].

Контрольные вопросы

1. Из чего состоит типичная структура сети доступа на ГТС?
2. Из чего состоит типичная структура сети доступа на СТС?
3. Что включает станционный участок сети доступа?
4. Что понимается под «зоной прямого питания»?
5. Перечислите основные характеристики типичных сетей доступа.
6. Какой участок сети доступа на ГТС имеет по статистике наибольшую длину?
7. Почему необходимо модернизировать существующие сети доступа?
8. Какой участок сети доступа иногда называют «последней милей»?

Глава 2. Модернизация сетей доступа

2.1. Общие положения

На рис. 2.1 показана модель инфокоммуникационной системы, предложенная международным союзом электросвязи (МСЭ) в рекомендациях серии Y. Эта модель позволяет однозначно определить место сети доступа в инфокоммуникационной системе [1, 2, 3, 33].

Примером оборудования в помещении абонента может быть как обычный телефонный аппарат (квартирный сектор), так и сложный комплекс аппаратно-программных средств – учрежденческая АТС (УАТС), локальная сеть Ethernet и прочее оборудование (производственный сектор). В первом случае функции элемента «Сеть доступа» может выполнять абонентская линия, представляющая собой двухпроводную физическую цепь. Во втором случае в состав сети доступа (для существующей системы электросвязи) должны входить:

- цифровой тракт Е1 (или несколько таких трактов) для подключения УАТС в местную телефонную сеть;
- цифровой тракт, поддерживающий стек протоколов TCP/IP, для включения локальной сети в Интернет;
- арендуемые линии, если они необходимы для включения того оборудования, которое не использует сеть телефонной связи или Интернет.

Функции транзитной сети состоят в установлении соединений между терминалами, включенными в различные сети абонентского доступа или между терминалом и средствами поддержания услуг. Элемент «Транзитная сеть» также может состоять из различных технических средств. В первом случае речь идет о ТфОП. Во втором



Рис. 2.1. Модель инфокоммуникационной системы

случае этот элемент состоит, по крайней мере, из двух коммутируемых (вторичных) сетей: ТфОП и Интернет. «Размеры» транзитной сети зависят от типа соединения. Для внутристанционного соединения транзитная сеть «вырождается» в районную АТС (РАТС). При установлении международного соединения в состав транзитной сети, кроме РАТС, входят автоматические междугородные телефонные станции (АМТС) и международные центры коммутации (МЦК).

Словосочетание «средства поддержки услуг» относятся к устройствам, которые могут значительно различаться по своим функциональным возможностям. Простейшим примером может считаться автоинформатор, а одними из самых сложных – современный контакт-центр, дата-центр или центр медиа-услуг (например, услуг «видео по запросу»).

Основное назначение сети доступа – обеспечение надежной и качественной связи между всеми видами оборудования, установленного в помещении клиентов и соответствующими транзитными сетями. Эволюция трех элементов инфокоммуникационной системы – «Оборудование в помещении клиента», «Транзитная сеть» и «Средства поддержки услуг» – привели к необходимости качественной модернизации сети доступа. Одна из существенных особенностей сети доступа – длительное использование технологии.

2.2. Услуги сети доступа в NGN

С административно-организационной точки зрения сеть доступа может являться как частью сети оператора региональной сети, так и техническим средством отдельного оператора – оператора сети доступа [37]. Таким образом, необходима разработка пакета документов, регламентирующих деятельность оператора сети доступа. Одной из основных задач при этом является определение и регламентация услуг доступа. В основу такой регламентации должно лечь деление услуг по способам доставки информации, качеству услуги (QoS) и скорости передачи.

Основными услугами сети доступа должно являться обеспечение подключения следующих типов абонентов:

- абоненты аналогового доступа телефонной сети общего пользования (ТфОП);
- абоненты базового доступа цифровой сети с интеграцией служб (ЦСИС);

- абоненты первичного доступа ЦСИС.

Помимо этих услуг сеть доступа может также обеспечивать подключение следующих типов абонентов:

- абоненты доступа цифровых абонентских линий (xDSL);
- абоненты выделенных каналов связи $n \times 64$ кбит/с и 2 Мбит/с;
- абоненты, использующие для доступа оптические кабельные технологии;
- абоненты, использующие для доступа структурированные кабельные системы;
- абоненты, использующие системы беспроводного доступа и радиодоступа.

В каждой из перечисленных выше типов услуг возможна дальнейшая дифференциация в зависимости от используемой скорости передачи или технологии доступа.

Доступ к ресурсам мультисервисной сети осуществляется через граничные узлы, к которым подключается оборудование сети доступа или осуществляется связь с существующими сетями. В последнем случае граничный узел выполняет функции межсетевых шлюзов.

2.3. Экономические аспекты модернизации сети доступа

Рассмотрим три графика (рис. 2.2), отражающих типичный ход кривых чистой текущей стоимости (NPV – Net Present Value) для трех вариантов модернизации гипотетической сети доступа [3].

Первый вариант предусматривает минимальную модернизацию сетей доступа. Все абонентские линии (АЛ) организованы за счет положенных ранее многопарных кабелей с медными жилами. При необходимости некоторые кабели на магистральных или распределительных участках заменяются аналогичными средствами. Если в сети доступа устанавливаются концентраторы, то отобранные по известной методике пары уплотняются цифровыми системами передачи. Очевидно, что начальные затраты на модернизацию сети I_1 не будут существенными. Период окупаемости T_1 также будет небольшим. Правда, в перспективе доходы Оператора, скорее всего, перестанут расти, так как он не сможет конкурировать на рынке новых инфокоммуникационных услуг.

Отличительная черта второго варианта – построение широкополосной сети, по крайней мере, на магистральном участке.

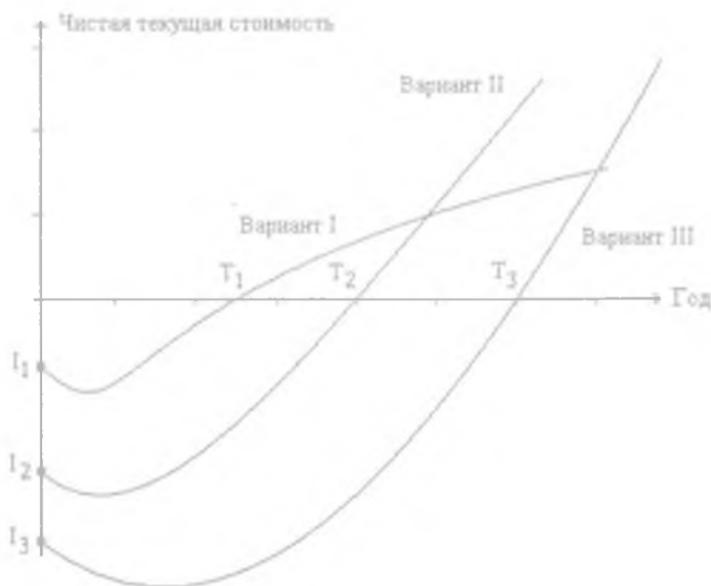


Рис. 2.2. Изменение «чистой текущей стоимости» для различных вариантов модернизации сети доступа

Это решение более всего похоже на ту стратегию, которая в англоязычной технической литературе известна по аббревиатуре FTTC (оптическое волокно до распределительного шкафа). Естественно, такое решение требует значительных начальных инвестиций I_2 .

Период окупаемости T_2 также возрастет по сравнению с аналогичной величиной для первого варианта. С другой стороны, оператор будет конкурентоспособным на рынке тех новых услуг, поддержка которых основана на использовании широкополосных каналов.

Третий вариант связан с радикальной модернизацией сети доступа. Характерным примером подобного решения можно считать замену всех многопарных кабелей. Такая стратегия модернизации сети доступа известна по аббревиатуре FTTH (оптическое волокно до здания — производственного помещения или жилого дома). Понятно, что значения начальных инвестиций I_3 и периода окупаемости T_3 будут самыми большими. Достоинство третьего варианта заключается в максимальном уровне потенциальной конкурентоспособности.

2.4. Используемые технологии

Длительный период использования многопарных кабелей (в ГТС) и воздушных цепей (в СТС) для построения сетей доступа закончился. В настоящее время Оператору доступны различные технологии для модернизации сетей доступа [1, 2, 3, 28]. Их классификация по используемой среде передаче представлена на рис. 2.3.

Все виды технологий можно разделить на три группы: проводные (wireline), беспроводные (wireless) и комбинированные (mixed). Технологии, базирующиеся на использовании проводных средств электросвязи, можно разделить на несколько классов. Первый класс образуют варианты систем использующих витую пару (Ethernet, xDSL и др.). Второй – системы, использующие коаксиальный кабель (Ethernet, системы кабельного телевидения). Третий – технологии, использующие в качестве среды передачи оптоволоконный кабель, которые образуют семейство FTТх. Эта запись означает, что кабель с ОВ доводится до некой точки «х», которая для рассматриваемого проекта обеспечивает оптимальное решение. В качестве символа «х» используются обозначения «С» (распределительный шкаф), «R» (удаленный модуль, функции которого обычно выполняет концентратор), «Н» (жилой дом), «В» (административное или производственное здание) и другие.

Все основные технологии, базирующиеся на использовании беспроводных (радиотехнических) средств электросвязи, можно также



Рис. 2.3. Классификация технологий доступа

разделить на три класса. Классические беспроводные технологии представлены средствами радиосвязи (узкополосными и широкополосными), которые, в свою очередь, делятся на два вида в зависимости от топологии связи базовой станции (БС) и терминалов:

- РТР (Point-To-Point) с конфигурацией «точка – точка»;
- РТМ (Point-To-Multipoint) с конфигурацией «точка – множество точек».

В сельской местности и в ряде других случаев могут использоваться системы спутниковой связи (ССС). Более того, в некоторых труднодоступных населенных пунктах применение ССС – единственное решение для создания сети доступа. В последние годы стали также применяться системы лазерной связи, работающие по эфиру. Они часто называются «оптическими без кабеля».

Комбинированные технологии доступа обычно разделяют на два класса. Сетевые решения, получаемые в результате разумного сочетания вариантов проводных и беспроводных технологий, образуют первый класс. Ко второму классу относятся комбинации стационарных (проводных и беспроводных) и мобильных технологий. Возможности, обеспечиваемые новыми технологиями, позволяют строить сети доступа, отвечающие любым реальным требованиям потенциальных абонентов. Одним из самых удачных примеров процессов конвергенции можно считать сближение функциональных возможностей оборудования проводных и беспроводных технологий доступа. Это означает, что при разработке сетевых решений целесообразно рассматривать возможность использования различных технологий доступа.

2.5. Сценарии построения современных сетей доступа

Задача оператора заключается в том, чтобы найти разумные решения при построении сети доступа, учитывая различие в уровне спроса на услуги между отдельными группами абонентов [1, 3]. С другой стороны, принятые решения не должны служить препятствием для введения новых услуг, спрос на которые ранее не прогнозировался. Исходя из функций, выполняемых сетью доступа в инфокоммуникационной системе, можно сформулировать ряд существенных требований, которые должны обеспечиваться в процессе ее модернизации:

– в сети доступа должны поддерживаться высокие показатели качества передачи информации, которые постепенно будут становиться все более «жесткими»;

– для повышения общей живучести инфокоммуникационной системы в сети доступа должны обеспечиваться высокие показатели надежности, которые также будут становиться все более «жесткими»;

– сеть доступа должна иметь возможность существенного наращивания своей пропускной способности по мере появления требований на услуги связи по широкополосным каналам.

Кроме того, сеть доступа должна и далее сохранять основные свойства, сформулированные в рекомендации МСЭ G.902: прозрачность в отношении видов информации и протоколов сигнализации. Перечисленные требования к сети доступа определяют сетевые решения, имеющие практический смысл, и технические средства, которые целесообразно использовать в процессе ее модернизации.

Для разработки принципов построения сети доступа целесообразно провести ее декомпозицию. Эта декомпозиция подразумевает выделение общей транспортной (первичной) сети доступа и ряда коммутируемых (вторичных) сетей доступа. Транспортная сеть доступа определяет принципы построения линейно-кабельных сооружений, поддержки показателей надежности и качества передачи информации, а также предоставления всем потребителям канальных ресурсов с различной пропускной способностью. Транспортная сеть не имеет самостоятельного значения. Она относится к классу так называемых Contentless (без обмена информацией) сетей.

Коммутируемые сети обычно делятся по виду передаваемой информации: телефонная, обмена данными, кабельного телевидения и так далее. Функции коммутируемых сетей заключаются в обеспечении процессов по обмену (или однонаправленному вещанию) информацией. Общее правило декомпозиции гипотетической сети доступа показано на рис. 2.4. Транспортная сеть доступа состоит из четырех мультиплексоров выделения каналов (МВК), объединенных в кольцо. Кольцо может быть создано за счет прокладки кабелей с ОВ или организации цифровой радиорелейной линии (РРЛ).

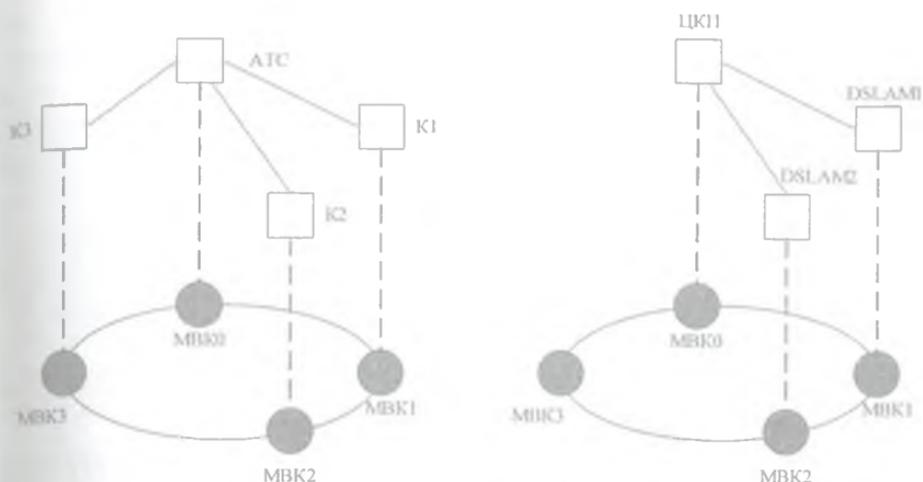


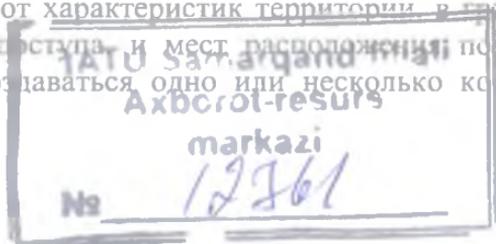
Рис. 2.4. Декомпозиция гипотетической сети доступа

Мультиплексор выделения каналов, расположенный в одном здании с АТС, имеет номер «0». Номера трех других MBK совпадают с номерами выносных концентраторов – левая часть рис. 2.4. Ресурсы транспортной сети в данном случае используются для организации соединительных линий (СЛ) между опорной АТС и тремя ее концентраторами. За счет кольцевой структуры транспортной сети между АТС и каждым концентратором пучок СЛ проходит по двум разным трассам, что обеспечивает высокую надежность сети доступа.

В правой части рис. 2.4 показана структура коммутируемой сети, используемой для высокоскоростного доступа в Internet. На тех площадках, где размещены первый и второй концентраторы, устанавливаются мультиплексоры DSLAM. Транспортная сеть доступа предоставляет широкополосные каналы для связи обоих DSLAM с центром коммутации пакетов (ЦКП), который расположен в одном здании с АТС.

2.5.1. Структура транспортной сети доступа

В зависимости от характеристик территории, в границах которой создана сеть доступа, и мест расположения потенциальных клиентов могут создаваться одно или несколько колец, объединяющих все MBK.



Выбор оптимальной структуры транспортной сети доступа может быть сделан на основании простого алгоритма, подразумевающего перебор всех возможных решений. Это объясняется тем, что в задачу перебора вариантов можно внести ряд очевидных ограничений, а число МК в реальной сети доступа не превышает 20 узлов. Ограничения на возможные варианты связи МК, как правило, определяются существующей кабельной канализацией. Возможность существенного повышения пропускной способности транспортной сети доступа будет определяться той средой передачи, которая используется для организации каналов.

Применение кабеля с ОВ гарантирует возможность роста пропускной способности за счет следующих решений:

- замена эксплуатируемых систем передачи SDH аналогичными, но более мощными (например, STM-4 вместо STM-1);
- установка оборудования спектрального уплотнения для создания большего числа трактов SDH;
- использование резервных (так называемых «темных») ОВ в кабеле, который находится в эксплуатации.

В транспортных сетях доступа могут применяться иные топологии и оборудование, отличающееся от SDH (в частности, вместо трактов STM ряд производителей оборудования предлагает использовать технологию Ethernet). Поэтому для Оператора на первый план выдвигаются задачи создания не столько транспортной сети доступа, сколько ее нижнего уровня – линейных сооружений. На рис. 2.5 приведена трехуровневая модель транспортной сети доступа.

Технология систем передачи может поменяться. Соответственно станут другими принципы мультиплексирования и кроссовой коммутации. Уровень физической среды должен обеспечивать смену технологий передачи при минимальных затратах. Поэтому перспективным направлением в реализации уровня физической среды следует считать применение кабелей с ОВ.

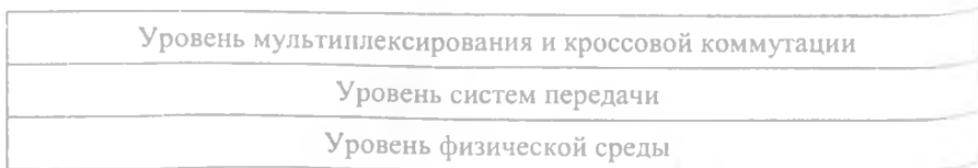


Рис. 2.5. Модель транспортной сети доступа

2.5.2. Построение коммутируемых сетей доступа

Самой крупной коммутируемой сетью была и в обозримой перспективе остается ТфОП. Сеть доступа создавалась исходя из требований ТфОП. При модернизации сети доступа требования ТфОП должны быть полностью учтены, так как телефонная связь приносит Оператору максимальный доход. В границах пристанционного участка цифровой коммутационной станции сеть доступа целесообразно модернизировать за счет использования выносных концентраторов. Для модели, использованной в предыдущем параграфе, сеть доступа будет иметь структуру, которая приведена на рис. 2.6.

В месте размещения МВК устанавливается концентратор (К) или УАТС. Включение УАТС в цифровую АТС целесообразно осуществлять по интерфейсу PRI, принятому для узкополосной ЦСИО. Для выносных концентраторов лучше всего использовать интерфейс V5.2, специфицированный МСЭ как универсальное решение для современных сетей доступа. Если цифровая АТС не

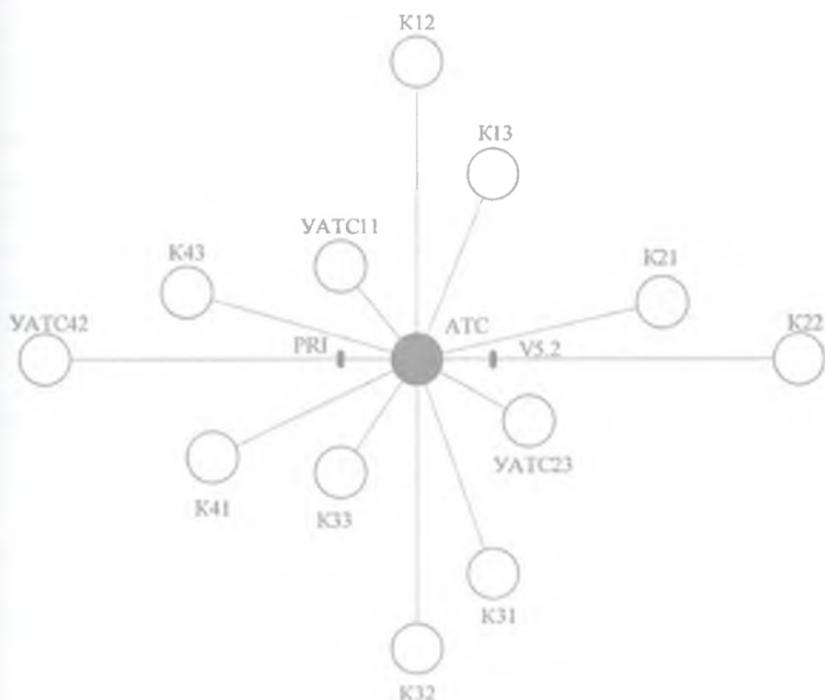


Рис. 2.6. Структура коммутируемой сети доступа для телефонной связи поддерживает интерфейс V5.2, то выносной концентратор может включаться по стыку PRI.

Использование выносных концентраторов существенно сокращает длину двухпроводных АЛ, что, в свою очередь, повышает качество передачи речи и другой информации.

Все структуры коммутируемых сетей доступа создаются за счет полупостоянных соединений в оборудовании МВК.

Контрольные вопросы

1. Перечислите компоненты модели инфокоммуникационной системы NGN.
2. Приведите примеры оборудования в помещении пользователя.
3. Что обеспечивает взаимодействие между оборудованием в помещении пользователя и транзитной сетью?
4. Какие элементы может содержать сеть доступа?
5. Какие сети выполняют функции установления соединения между терминалами сети доступа и центром поддержания услуг?
6. Какой элемент NGN предоставляет услуги «Видео по запросу», доступ в сеть Интернет и другие?
7. Перечислите услуги сети доступа.
8. Укажите возможные модели модернизации сети доступа.
9. Укажите требования, предъявляемые к сетям доступа.
10. Какой элемент должен обеспечивать заданные показатели надежности и качества работы сети?
11. Какая топология транспортной сети является оптимальной с точки зрения надежности и экономичности?
12. Какие устройства могут применяться для оптимального построения сети доступа?
13. На какие классы можно разделить технологии сетей доступа?
14. Что могут использовать в качестве среды передачи технологий проводного доступа?
15. К каким технологиям относится технология лазерной связи?

Глава 3. Сети доступа на базе проводных средств

3.1. Общие сведения

В последнее время концепция подключения абонентов к сети электросвязи претерпела существенные изменения. Применение медных линий в качестве средства доступа практически исключено при новом строительстве, а при реконструкции и усилении существующих распределительных сетей крайне ограничено [1, 6, 12, 16].

Традиционный способ подключения, заключающийся в прокладке медной абонентской линии от оконечной станции до терминала абонента, становится все более дорогим и не решает всего спектра задач, стоящих перед современной телекоммуникационной сетью. Стоимость самого медного кабеля, а также его укладки неуклонно растет. Загруженность кабельной канализации в городах, высокие эксплуатационные расходы на поддержание необходимого состояния кабелей в сочетании с ограниченностью пропускной способности заставляют операторов искать альтернативные пути решения проблемы доступа. В сетях доступа все чаще используются технологии, раньше применявшиеся лишь на магистральных направлениях, а именно волоконно-оптические и радиорелейные линии. При этом существующие медные абонентские сети доступа могут эффективно использоваться с применением таких технологий, как xDSL.

Концепция развития сетей доступа в основном разделяется на две составляющие:

1. Интенсификация использования существующих абонентских линий (например, использование технологий xDSL).
2. Строительство сетей доступа с применением новых технологий (ВОЛС, РРЛ, xDSL).

3.2. Классификация технологий проводного доступа

Одним из важнейших критериев классификации технологий (рис. 3.1) проводного доступа является используемая среда передачи. Это может быть витая медная пара, коаксиальные кабели, оптоволоконные кабели, СКС, а также проводка сетей электропитания

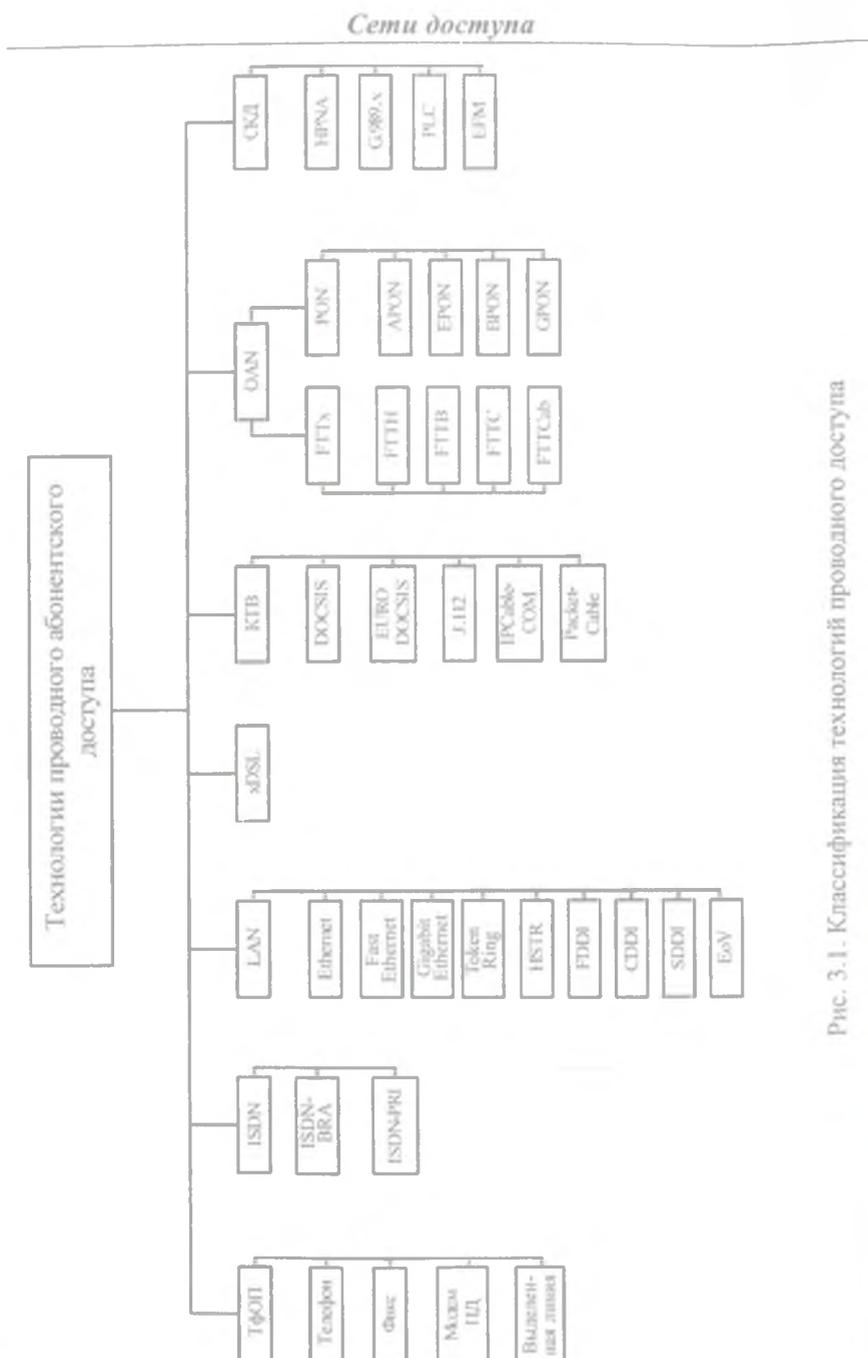


Рис. 3.1. Классификация технологий проводного доступа

или радиотрансляционных сетей. С учетом данного критерия технологии проводного абонентского доступа распределяются на следующие группы:

- технологии xDSL-доступа (витая медная пара);
- технологии кабельного телевидения (коаксиальный и оптоволоконных кабели);
- технологии оптического доступа OAN (оптоволоконный кабель);
- технологии сетей коллективного доступа (провода сетей электропитания, проводка радиотрансляционных сетей);
- технологии ЛВС LAN (СКС категорий 3, 4, 5, коаксиальный кабель и оптоволоконный кабель).

Помимо перечисленных технологий, на классификационной схеме отображены также технологии доступа к услугам ISDN и услуги, предоставляемые абонентам ТфОП.

3.2.1. Доступ к традиционным сетям связи

ТфОП создавалась для предоставления услуг телефонии. Доступ абонентов к услугам ТфОП осуществляется по линиям связи на основе витых медных пар с помощью оборудования, функционирующего в соответствии с алгоритмами установления телефонных соединений.

Услуги ТфОП ограничены полосой частот стандартного телефонного канала 0,3...3,4 кГц. Максимальная скорость передачи данных при организации доступа через ТфОП составляет 56,7 кбит/с. При этом абонент не может одновременно пользоваться услугами телефонии и доступа в Интернет. Таким образом, возможности расширения набора предоставляемых услуг и увеличения скорости доступа к этим услугам в сети ТфОП практически ограничены.

Доступ в сетях ISDN также осуществляется по витой медной паре, однако при этом набор предоставляемых услуг по сравнению с ТфОП существенно больше. Базовый ISDN-доступ (канал 144 кбит/с, 2B+D) обеспечивает абоненту одновременно доступ к услугам телефонии и передачи данных. Тем не менее в силу невысокой эффективности использования сетей с коммутацией каналов для передачи пакетных данных, а также достаточно высокой стоимости технологии ISDN-доступ не получил широкого распространения.

3.2.2. Технологии xDSL

Развитие xDSL-доступа, по сути, отражает развитие методов передачи сигналов по витой медной паре. Эти технологии обеспе-

чивают доступ к широкому спектру услуг по передаче мультимедийной информации. Вопросами стандартизации, а также продвижения технологии xDSL на рынке занимаются различные международные организации (ITU, ANSI, ETSI, DAVIC, ATM Forum, ADSL Forum).

Данные технологии можно разделить на две группы – технологии симметричного и асимметричного xDSL-доступа. Первые находят применение главным образом в корпоративном секторе, а вторые предназначены для предоставления мультимедийных услуг преимущественно индивидуальным пользователям. Подробно данные технологии рассматриваются в последующих разделах.

3.2.3. Технологии оптического доступа

Наибольший объем услуг может быть предоставлен пользователю с помощью сетей оптического доступа OAN (Optical Access Networks) – активных (FTTH, FTTB, FTTC, FTTCab) или пассивных PON (Passive Optical Networks). Созданием и продвижением новейших технологий доступа, и в частности оптических технологий, занимается международный консорциум FSAN (Full Service Access Network).

Технологии пассивных оптических сетей PON

Основными технологиями PON являются APON, BPON, GPON и EPON.

Первые стандарты на PON были созданы FSAN в 1995 г. на базе транспортной технологии ATM и получили название APON (ATM PON). Технологии BPON (Broadband PON) и GPON (Gigabit rate PON) также основаны на использовании ATM, однако по сравнению с APON их возможности шире. Технология BPON обеспечивает динамическое назначение полосы частот и предусматривает возможность работы на дополнительных длинах волн. Требования к технологиям APON и BPON определены в рек. G.983.1 – G.983.7 ITU-T.

В сетях GPON общая пропускная способность должна превысить гигабитную отметку.

Технология EPON (Ethernet PON), предложенная рядом производителей, основана на транспортировке в сетях PON пакетов Ethernet вместо ячеек ATM.

Технологии доведения оптического волокна до объекта FTTH

Доступ к широкому спектру услуг по оптическому волокну получил название FTTH (Fiber-To-The-Home) – оптическое волокно

до помещения пользователя. Однако его стоимость подключения до недавнего времени составляла около 30 тыс. долларов. Новый виток развития технологий оптического доступа во второй половине 1990-х годов, связан со снижением цен на комплектующие для оптических сетей, а также с развитием гибридных технологий, когда к одной оптоволоконной линии подключается группа абонентов.

В настоящее время наряду с FTTN широко используется ряд других технологий, имеющих общее название FTТх:

- FTТВ (Fiber To The Building) – оптическое волокно до здания;
- FTТС (Fiber To The Curb) – оптическое волокно до группы зданий;
- FTТСab (Fiber To The Cabinet) – оптическое волокно до шкафа.

Они могут использоваться как совместно с технологиями PON, так и самостоятельно. Главное их достоинство – огромная пропускная способность, обеспечивающая доступ не только к услугам интерактивного видео и Интернета, но и к десяткам высококачественных цифровых видеоканалов.

Развитие технологий оптического доступа

Перспективы развития сетей OAN связаны в первую очередь со снижением цен на организацию оптического доступа. Рынок обслуживания оптического доступа успешно развивается. Внедрение технологий APON, FTТС, FTТСab будет происходить в основном в сфере индивидуального пользования и малого бизнеса. Более дорогостоящие технологии FTTN и FTТВ найдут, по-видимому, применение в сфере крупного и среднего бизнеса.

3.2.4. Технологии коллективного доступа

Сети коллективного доступа (СКД) предназначены для организации относительно недорогого доступа в Интернет индивидуальных пользователей, проживающих в многоквартирных домах. Идея коллективного доступа состоит в использовании существующей в домах кабельной инфраструктуры (витая медная пара, радиотрансляционные сети, электрическая проводка). В подключаемом к Интернету доме устанавливается концентратор трафика. Для подключения концентратора к узлу служб транспортной сети могут использоваться разные технологии (PON, FWA, спутниковые и др.). Таким об-

разом, сети коллективного доступа являются гибридными, объединяющими в себе как собственно сети коллективного доступа, так и сети, обеспечивающие транспортировку трафика. К основным технологиям коллективного доступа относятся HPNA, PLC, EFM.

Серия стандартов HPNA

Стандарты HPNA появились в результате деятельности альянса Home Phoneline Networking Alliance, созданного в 1996г. для разработки технологии, которая на основе существующей в домах кабельной сети должна была обеспечить относительно недорогой доступ в Интернет. Технология HPNA стандартизирована в ИТУ-T (Рек. G.989.1 и G.989.2).

HPNA 1.x Стандарт HPNA 1.0 создан в 1998 г. Для передачи сигналов используется полоса частот 4...10 МГц, поэтому система HPNA не оказывает влияния на телефонные и другие системы, работающие по тому же кабелю. Системы доступа HPNA 1.0 обеспечивают коллективный доступ к каналу с пропускной способностью 1 Мбит/с на расстоянии до 150 м. В качестве метода доступа к среде передачи применяется CSMA/CD (IEEE 802.3). Для передачи информации используется модуляция DMT. Типовая топология сети – «звезда». Ядро сети – коммутатор HPNA, порты которого подключаются к соответствующей абонентской линии. Максимальное количество абонентов сети – 32. В стандарте HPNA 1.1 дальность действия оборудования увеличена до 300 м.

HPNA 2.0. В сетях данного стандарта, появившегося в 2000 г., пропускная способность коллективного канала увеличена до 10 Мбит/с при дальности действия системы до 350 м. Типовая топология сети – «шина». Работа такой сети не требует применения коммутаторов и других активных устройств.

HPNA 3.0. В настоящее время ведется разработка нового стандарта HPNA 3.0, по которому пропускная способность домашней сети должна достигнуть 100 Мбит/с.

Технология PLC

Разработка стандартов технологии PLC (Power Line Communications), реализуемой на базе инфраструктуры сетей электропитания, занимаются различные международные организации, такие как PLC Forum, Powerline World и HomePlug Powerline Alliance.

Последняя из них приняла в 2001 г. единый стандарт HomePlug 1.0 specification, в котором определены скорости передачи данных (до 14 Мбит/с), методы доступа к среде передачи (CSMA/CD или CSMA/CA) и модуляции (OFDM). Стандартизация PLC-технологии ведется также и в ETSI (TS 101 867, TS 101 896, TR 102 049).

Технология EFM

Технология EFM (Ethernet in the First Mile) требует создания в доме инфраструктуры на базе оптоволоконного кабеля или витой медной пары категории 3 и выше. Проект EFM разрабатывается рабочей группой IEEE 802.3ah, в которой для определения сети доступа предпочитают использовать выражение «первая миля» вместо общепринятого термина «последняя миля». Цель проекта – выработать требования к функциям сети коллективного абонентского доступа на базе Ethernet (в отличие от сетей Ethernet стандарта IEEE 802.3, предназначенных для корпоративного или частного пользования). В создаваемом стандарте будут представлены различные сетевые архитектуры, предусмотрено использование различных сред передачи информации.

3.2.5. Технологии КТВ

Сети кабельного телевидения (КТВ) изначально предназначались для организации трансляции пользователям телевизионных программ по распределительным сетям на основе коаксиального кабеля и строились по однонаправленной схеме. В начале 1990-х годов были предприняты многочисленные, но неудачные попытки создания и внедрения технологий построения интерактивных сетей доступа к мультимедийным услугам на базе гибридных сетей КТВ – Hybrid Fiber Coaxial (HFC). Массовое развертывание HFC-сетей началось после появления в 1997 г. стандарта DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification). Сегодня используется 5 вариантов данного стандарта, определяющих построение интерактивных систем КТВ на базе гибридной HFC-технологии: три американских (DOCSIS 1.0; 1.1; 2.0), один европейский (Euro-DOCSIS) и один международный (Рек. J.112 ИТУ-Т).

DOCSIS 1.0. Этот стандарт был создан для сетей КТВ США. Он определяет физический и MAC-уровни, уровень управления для кабельных модемов и головных станций, принципы обеспечения сетевой безопасности и качества обслуживания. Для организации

обратного канала используется диапазон 5...42 МГц. Метод доступа к обратному каналу – TDMA, метод модуляции – QPSK и 16QAM, скорость передачи – до 1 Мбит/с. Для защиты информации используется стандарт цифрового шифрования DES с длиной ключа 40 бит. Модель обеспечения качества обслуживания основана на классах обслуживания CoS. Прямой канал может быть организован в диапазоне частот 88...860 МГц. Методы модуляции в прямом канале – 64QAM и 256QAM, скорости передачи соответственно 30,34 и 42,88 Мбит/с.

DOCSIS 1.1. Вторая версия стандарта была создана в 1999 г. В ней была увеличена скорость передачи в обратном канале до 5 Мбит/с, улучшена эффективность использования пропускной способности обратного канала за счет введения механизмов фрагментации пакетов и подавления заголовков, повышена сетевая безопасность благодаря введению аутентификации кабельных модемов.

DOCSIS 2.0. В третьей версии стандарта, опубликованной в 2002 г., пропускная способность обратного канала увеличена до 30,72 Мбит/с при ширине полосы частот до 6,4 МГц. В качестве метода доступа к обратному каналу используются варианты TDMA – Advanced TDMA (A-TDMA) или Synchronous CDMA (S-CDMA). В обратном канале дополнительно используются методы модуляции 8QAM, 32QAM, 64QAM, а также 128QAM с решетчатым кодированием (trellis-coded).

Euro-DOCSIS. Эта спецификация представляет собой вариант американского стандарта DOCSIS, адаптированный к европейским кабельным сетям. Для организации обратного канала выделен диапазон 5...65 МГц, для прямого канала – 108...862 МГц. Полоса частот в прямом канале – 8 МГц (Рек. J.83.A ITU-T). Методы модуляции в прямом канале – 64QAM и 128QAM, скорости передачи соответственно около 37 и 52 Мбит/с.

Рекомендация J.112. В 1998 г. версия DOCSIS 1.0 была принята ИТУ-T в качестве международного стандарта J.112. Расширения этого стандарта изложены в опубликованных позднее приложениях А, В, и С.

Перспективы развития КТВ

Разработка европейской спецификации технологии интерактивных НФС-сетей ведется в настоящее время под общим названием

IPcableCom. В США подобная разработка проводится в лаборатории CableLabs в рамках проекта PacketCable. Совершенствование этих технологий идет по пути создания дополнительных возможностей и внедрения новых услуг. Основные отличия спецификаций связаны с особенностями построения телекоммуникационных сетей в Европе и США.

В производстве оборудования стандарта DOCSIS участвуют десятки производителей. В США тестирование на совместимость этого оборудования проводится в сертификационном центре CableLabs, а в Европе проверка оборудования Euro-DOCSIS осуществляется в сертификационном центре tComLabs. Благодаря этому в настоящее время обеспечена возможность создания HFC-сетей на базе оборудования разных производителей, протестированного на совместимость.

3.2.6. Технологии LAN

Технологии LAN разрабатывались для обеспечения доступа корпоративных пользователей к ресурсам локальных сетей. Для доступа пользователей к услугам других ресурсов (Интернет, корпоративные сети и т.д.) современные LAN строятся по гибридной технологии и объединяют в себе собственно LAN и сети, обеспечивающие подключение LAN к транспортным сетям МСС. Среди технологий LAN можно выделить следующие: Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, HSTR, FDDI, CDDI, SDDI и EoV.

Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet

Технологии семейства Ethernet, разработанные в комитете IEEE 802.3, обеспечивают скорости передачи 10/100/1000 Мбит/с. Все технологии поддерживают полудуплексный режим работы. В них используется метод множественного доступа с прослушиванием несущей и обнаружением коллизий CSMA/CD. В технологиях Fast Ethernet и Gigabit Ethernet дополнительно реализована полнодуплексная версия протокола для работы в коммутируемых сегментах. Топология сетей – «шина». В качестве среды передачи используется витая пара различных категорий и многомодовый оптоволоконный кабель (для Ethernet также коаксиальный, а для Gigabit Ethernet – одномодовый оптоволоконный кабель). Протяженность сети зависит от используемой среды передачи и может составлять от 100 до

2000 м. Протоколы семейства Ethernet не поддерживают современных требований к качеству обслуживания QoS. Для реализации QoS используются дополнительные механизмы в коммутаторах и маршрутизаторах.

Token Ring и HSTR

Разработка технологий Token Ring и HSTR (High Speed Token Ring) проводилась в комитете IEEE 802.5. Скорость передачи в сети Token Ring составляет от 4 до 16 Мбит/с. Топология сети – «кольцо». Для доступа к сетевым ресурсам используется бесколлизийный метод, основанный на циркуляции по кольцу маркера. Передавать данные по сети может только станция, получившая маркер. По окончании передачи маркер пересылается следующей станции. Более скоростные Token Ring, получившие название HSTR, предусматривают передачу со скоростями 100 Мбит/с и 1 Гбит/с. Количество сетей Token Ring не превышает 10% от общего числа LAN.

FDDI, CDDI, SDDI

Стандарт FDDI (Fiber Distributed Data Interface), принятый ANSI, определяет принципы построения локальных сетей со скоростью передачи данных 100 Мбит/с. Сети FDDI обладают высокой отказоустойчивостью благодаря реализации топологии «двойное оптическое кольцо» с противоположными направлениями передачи маркера в основном и вспомогательном кольцах. В начале 1990-х годов FDDI была наиболее скоростной технологией, поэтому она стала применяться в основном в городских кольцевых магистралах с диаметром кольца до 100 км и расстоянием между узлами сети до 2 км. Использование же FDDI в качестве технологии для построения LAN весьма ограничено из-за высокой стоимости. Технологии CDDI (Copper DDI) и SDDI (Shielded DDI) – это проводные варианты технологии FDDI для незранированной и экранированной витой медной пары соответственно.

Ethernet-over-VDSL

Заложенные в технологии VDSL возможности организации симметричного обмена данными начинают использоваться в последнее время для передачи Ethernet-трафика поверх VDSL. Со-

временное оборудование Ethernet-over-VDSL (EoV) позволяет передавать данные по обычной медной паре со скоростью до 10 Мбит/с на расстояние до 1,5 км или до 4 Мбит/с на расстояние до 2,5 км. Топология сети – «звезда» или «точка-точка».

Перспективы развития LAN

В настоящее время более 85% сетей LAN построены с использованием технологии семейства Ethernet. Их распространенность обусловлена простотой и низкой стоимостью оборудования Ethernet, позволяющего создавать корпоративные сети, в которых реализуемая скорость передачи информации может быть от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с. Но развитие технологии Ethernet идет не только в направлении увеличения пропускной способности LAN. Современное оборудование Ethernet применяется для построения городских сетей (Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet) и для организации абонентского доступа (EoV).

Стандартизация технологии EFM позволит применять Ethernet для организации СКД.

Контрольные вопросы

1. Какие две составляющие можно выделить в концепции развития сетей доступа?
2. Какие технологии сети доступа, как правило, используют проводную среду передачи?
3. Для каких услуг создавались сети связи общего пользования?
4. В каких технологиях сети доступа заложена идея использования существующей в домах кабельной инфраструктуры?
5. К каким технологиям сети доступа относятся технологии серии HPNA?
6. Какая технология сети доступа использует инфраструктуру сетей электропитания?
7. К каким технологиям сети доступа относится серия стандартов DOCSIS?
8. Какая топология сети используется в технологии Ethernet?
9. Какая топология сети используется в технологии HPNA различных версий?
10. В каких технологиях сети доступа применяется кольцевая топология?
11. В каких технологиях сети доступа оптоволокно может быть использовано в качестве среды передачи?

Глава 4. Сети доступа на базе радиотехнических средств

4.1. Принципы использования радиотехнологий

Радиотехнические средства, используемые для создания и развития сетей доступа, имеют различные характеристики, которые определяются назначением оборудования. Классификация оборудования беспроводного доступа приведена на рис. 4.1.

Все радиотехнические средства предназначены для работы в сетях фиксированной или мобильной связи. Кроме того, практическое применение находят комбинированные системы, способные работать в сетях обоих видов [3, 9, 27, 29].

Сети фиксированной связи можно разделить на четыре группы. Две первые группы представляют радиотехническое оборудование, обеспечивающее поддержку узкополосных (до 2048 кбит/с) и широкополосных (свыше 2048 кбит/с) услуг. Оборудование, поддерживающее как узкополосные, так и широкополосные услуги, делит-



Рис. 4.1. Классификация радиотехнологий

ся на два больших класса: РТР (точка-точка) и РТМ (точка-многоточие). Для систем РТР обычно используется термин WLL – беспроводная АЛ. Третья группа (лазерная связь) также относится к технологии РТР, но она выделена отдельно из-за существенного различия в обеспечиваемой полосе пропускания сигналов. Лазерная связь используется для создания цифровых широкополосных трактов в зоне прямой видимости. В четвертую группу входит оборудование, предназначенное для спутниковой связи.

Сети мобильной связи можно рассматривать как одно из специфических средств доступа. Его существенное отличие, с точки зрения общих принципов построения инфокоммуникационной системы, заключается только в уровне присоединения. Все сети мобильной связи используют собственный центр коммутации. Функции мобильности терминала – с точки зрения сети доступа – можно считать вторичными. Среди технологий мобильной связи можно выделить следующие наиболее распространенные виды: GSM, CDMA, NMT-450. Хотя технологии мобильной связи изначально создавались для передачи речи, то в последнее время развитие мобильной связи происходит в сторону увеличения скорости передачи данных. Так если в NMT-450 скорость передачи данных составляет 9,6 кбит/с, то для системы GSM+GPRS пиковая скорость может составлять до 150 кбит/с, а GSM+EDGE – до 384 кбит/с. При этом приоритет отдается голосовым соединениям. Сети мобильной связи третьего поколения разрабатывались с учетом возможности достижения скорости передачи данных до 2 Мбит/с. Таким образом мобильная связь уже сегодня может предоставить весь набор услуг, характерных для традиционных фиксированных телефонных сетей.

Комбинированные системы в настоящее время представлены двумя вариантами использования радиотехнического оборудования. Во-первых, часть абонентов фиксированной сети может обмениваться БС сотовой сети. При этом мобильность терминала ограничена зоной действия одной БС. Во-вторых, организация доступа в Интернет, а также поддержка некоторых мультимедийных услуг возможна за счет создания беспроводных локальных сетей (WLAN). Ряд новых технологий, разрабатываемых в настоящее время, будет предназначен для работы в сетях фиксированной и мобильной связи.

Системы на базе стандартов бесшнуровой телефонии (СТ-2, DECT) обеспечивают относительно небольшие радиусы сот

(0,2...5 км). По сравнению с системами сотовой подвижной связи, их маломощные и менее громоздкие базовые станции проще и дешевле устанавливать. Эти системы не требуют частотного планирования, что существенно упрощает их инсталляцию, обеспечивают более высокое качество речи и скорости передачи данных по сравнению с системами на базе сотовых стандартов. Изначально технология DECT разрабатывалась с ориентацией на услуги телефонии, однако авторы уже первых стандартов попытались расширить сферу ее применения.

Фирменные нестандартные системы настолько сильно отличаются базовыми радиотехнологиями, алгоритмами, параметрами и возможностями, что дать им общую характеристику невозможно. Их можно разделить на две группы: узкополосные (narrowband) и широкополосные (wideband, не путать с broadband).

Узкополосные системы схожи с системами WLL на базе технологий и стандартов сотовой связи. Они обеспечивают довольно большую дальность радиосвязи и невысокую скорость передачи данных.

Широкополосные системы обладают довольно большой скоростью передачи данных (до 144 кбит/с, а иногда и 1 Мбит/с) и высокой помехозащищенностью.

При создании широкополосных систем всегда использовались две технологии формирования широкополосного сигнала в частотной (FHSS) и временной (DSSS) областях. Радиомодемы для организации связи «точка-точка» и сетевых приложений «точка-многоточка» развивались для этих технологий параллельно.

Первые образцы беспроводного оборудования были созданы для диапазона 902...928 МГц. Типичными примерами могут служить:

- «точка-точка» – серия Airlink компании Cylink со скоростью передачи в канале от 32 до 512 кбит/с по технологии расширения спектра прямой последовательностью DSSS;

- «точка-многоточка» – серия Aironet 1000 со скоростью передачи в канале от 215 до 860 кбит/с по технологии DSSS.

Для первого модема база сигнала (коэффициент расширения спектра) была равна 32, для второго – 11 («технической» скорости передачи битов в физическом канале, не учитывающей служебную часть). Следует также учитывать, что по технологии RadioEthernet общая среда передачи в каждый момент времени выделяется в MDR

нольное использование только одному абоненту, т. е. пропускная способность сети для каждого абонента меньше «технической» скорости в n раз (где n – количество абонентов). Однако, то обстоятельство, что диапазон используется другими радиосредствами (в частности, сетями сотовой связи GSM-900), создающими взаимные помехи сетям RadioEthernet, привело к тому, что беспроводные сети диапазона 902...928 МГц не получили широкого распространения, нигде кроме США. Более удобным оказался диапазон 2400...2483,5 МГц и позже 5 ГГц, что объясняется большей шириной спектра и меньшим уровнем помех от других радиосредств. В этих диапазонах и стали лавинообразно развиваться сети RadioEthernet. Типовая структура таких сетей представлена на рис. 4.2.

Вплоть до 1997 г. каждый производитель выпускал оборудование этого диапазона, не сдерживаемый практически никакими ограничениями, кроме частотно-энергетических. Еще с 1990 г. рабочая группа IEEE 802.11 сосредоточила усилия на разработке единого стандарта беспроводных локальных сетей.

Последний черновой вариант стандарта был представлен в ноябре 1995 г. Представление в ISO произошло в марте 1996 г. Первые комплексные испытания – в марте 1996 г., окончательные – в июле 1996 г.

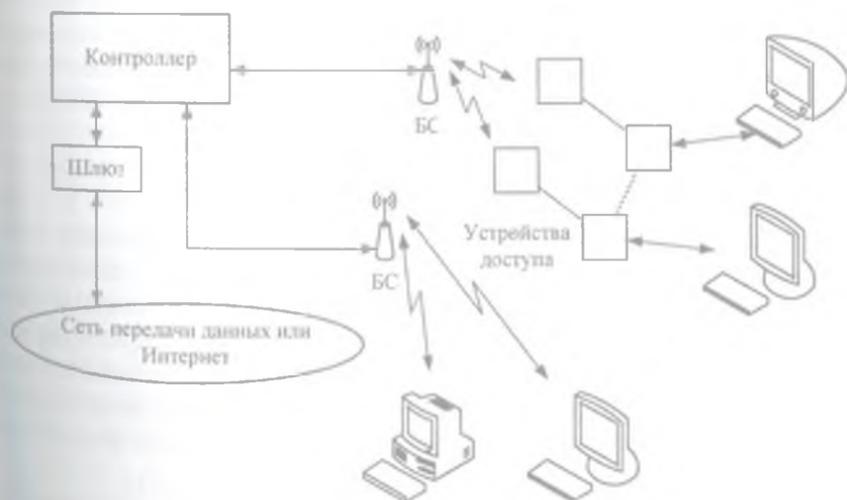


Рис. 4.2. Типовая структура сети RadioEthernet

Как и у других стандартов серии 802, главной функцией стандарта 802.11 является обеспечение работы устройств передачи данных для доступа к среде передачи (MSDU) на уровне протокола управления логическим каналом. Иными словами, стандартизованное оборудование осуществит передачу пакетов данных между сетевыми платами без проводов.

Так появилась группа стандартов IEEE 802.11, а позже модификации b, a, g и т. д. Кстати, появление модификаций стандарта с различными буквенными индексами было связано с тем, что по мере распространения беспроводных сетей становилось понятно, что широкополосные системы обладают одним существенным недостатком, несущественным для военной связи, – низким уровнем использования частотного спектра, т. е. низкой частотной эффективностью, а также не предоставляют качество обслуживания операторского класса [13, 24, 27, 38–40].

Так, например, стандарт IEEE 802.11a предусматривает использование частотного диапазона 5 ГГц и модуляции по методу ортогонального мультиплексирования с разделением частот [Orthogonal Frequency Domain Multiplexing (OFDM)]. Его применение позволяет увеличить скорость передачи в каждом канале с 11 Мбит/с, как в стандарте 802.11 b, до 54 Мбит/с. При этом одновременно может быть организовано до восьми непересекающихся каналов, а не три, как в диапазоне 2,4 ГГц. Беспроводная локальная сеть стандарта IEEE 802.11a способна одновременно поддерживать большее число сеансов высокоскоростной передачи данных, чем сети 802.11 и 802.11b, причем с меньшей вероятностью конфликтов.

Узкополосный абонентский радиодоступ

Наряду с хорошо зарекомендовавшими себя проводными подходами к решению проблемы «последней мили» для уплотнения абонентских телефонных линий также стали использоваться беспроводные технологии. Они обладают бесспорными преимуществами при отсутствии или недостаточном развитии кабельной инфраструктуры (труднодоступные районы, сельская местность, пригородные зоны), невозможности прокладки абонентских линий или слишком большой их стоимости.

Системы беспроводного доступа – это системы радиосвязи со множественным доступом, используемые на участке между фиксированными абонентскими терминалами (телефонными аппаратами)

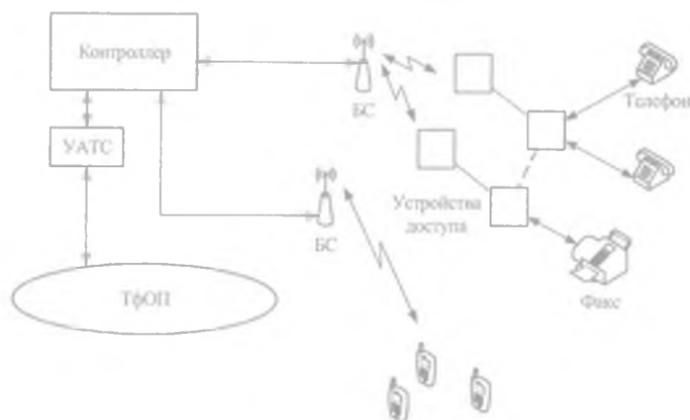


Рис 4.3. Типовая архитектура WLL

и АТС вместо проводной абонентской части ТФОП. Термин WLL (Wireless Local Loop) дословно означает «беспроводной (беспроводный или радио) абонентский шлейф» [3].

Типовая архитектура практически любой WLL представлена на рис. 4.3. Передача сигнала обеспечивается независимо от рельефа местности благодаря возможности размещения базовых станций на господствующих высотах и/или использованию ретрансляторов. Для подключения к системе нового абонента достаточно обеспечить его номером и абонентским терминалом.

При дефиците емкости системы ее легко можно расширить дополнительными модулями или подсистемами. Стоимость системы не растет с увеличением расстояния (в пределах допустимых радиусов зон обслуживания базовых станций) до абонента. Многие аналитики считают, что стоимость инфраструктуры абонентской кабельной сети составляет не менее 30 % от капитальных затрат оператора. Большая часть этих затрат приходится на строительство линейно-кабельных сооружений; ожидается, что со временем их стоимость будет только возрастать. При использовании беспроводной технологии основные затраты приходятся на оборудование, цены на которое неуклонно падают.

Миграция систем в широкополосный доступ

В процессе своего развития системы RadioEthernet и WLL постоянно модифицировались, «двигались» навстречу друг другу и по функциям, и по используемым диапазонам частот.

Так, например, системы RadioEthernet со временем стали приобретать свойства, присущие операторским системам WLL, – качество обслуживания (QoS), наличие телефонных портов, гибкое управление сетью, большую дальность обслуживания с одной базовой станции. Системы WLL, в свою очередь, начали использоваться для передачи ограниченных потоков данных, а не только телефонии.

В частотной области системы, вышедшие из RadioEthernet, стали использоваться не только в «RadioEthernet-диапазонах» 2,4 и 5 ГГц, но и в традиционных WLL-диапазонах 3,4...3,6 ГГц и др. То же самое произошло и с системами WLL, которые стали «обживать» некоторые «RadioEthernet-диапазоны».

Очень скоро стало понятно, что и те, и другие системы обладают существенными недостатками: во-первых, они работают только в условиях прямой видимости от абонента до базовой станции, что сильно сужает область использования. Системы IP-WLL обладают недостаточными характеристиками для качественного обслуживания большого числа телефонных абонентов, а обычные системы WLL не могут качественно предоставлять большому числу абонентов услугу передачи данных с высокой скоростью. Практически все системы обладали недостаточной частотной эффективностью и, следовательно, невозможностью предоставлять для каждого абонента высокие скорости в условиях ограниченного частотного ресурса.

Отсюда возникла необходимость создания нового класса систем – систем широкополосного беспроводного доступа с интеграцией услуг. Типовая схема системы широкополосного беспроводного доступа показана на рис. 4.4.

Для оценки качества и распространения широкополосного доступа обычно используются качественные и количественные показатели, к которым относятся скорость передачи, надежность канала, качественный набор услуг, а также приведенная цена.

Скорости доступа в пересчете на одного абонента за последние несколько лет выросли от 64 до 1024 кбит/с и более. Качественный набор услуг со временем дополняется телефонией, видео и большим спектром информационных и бизнес-приложений. Цены же лавинообразно падают.

Перспективным направлением является разработанный Институтом IEEE стандарт 802.16, который представляет собой рассчитанный

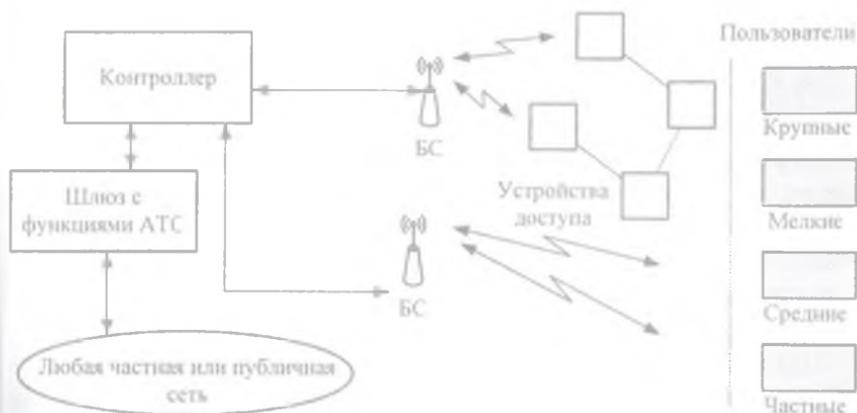


Рис. 4.4. Типовая схема системы широкополосного доступа

танную на внедрение в городских и сельских беспроводных сетях (WirelessMAN) технологию широкополосной связи, а точнее беспроводного широкополосного доступа операторского класса. В этом его основное отличие от группы стандартов IEEE 802.11.

Успехи в области электроники позволяют создавать радиотехническое оборудование с такими характеристиками качества и надежности, которые ранее обеспечивались только средствами проводной связи.

4.2. Использование частотного спектра

Для реализации радиочастотного варианта доступа в телекоммуникационные сети (Wireless Local Loop, WLL) используются следующие диапазоны: 300 ... 500 МГц; 800 ... 960 МГц; 1400 ... 1500 МГц; 1850 ... 1910 МГц; 2100 ... 2700 МГц; 3400 ... 3600 МГц [4, 31, 32].

Частотные диапазоны

300 МГц:

- 300...308 МГц и 336...344 МГц – для радиосредств сухопутной подвижной и фиксированной службы гражданского применения;
- 307,5...308 и 343,5...344 МГц – для оборудования беспроводного доступа и радиодлинителей, предназначенных для обеспечения связи со стационарными и подвижными абонентами.

800 МГц:

- для работы радиолокационных станций, РЭС систем ближней радионавигации и посадки, земными станциями спутниковой связи и другими средствами специального назначения;

- 864...868,2 МГц – для бесшнуровых телефонных аппаратов офисного типа, радиотелефонных систем, использующих технологию стандарта СТ-2.

900 МГц.

Сети сотовой подвижной связи стандарта GSM.

1427...1525 МГц.

Радиоэлектронные средства правительственного назначения.

1,427...1,429 ГГц и 1,525...1,529 ГГц – могут использоваться службой космической эксплуатации.

1800...1900 МГц.

Сети GSM (DCS), возможно использование систем абонентского доступа стандарта DECT.

2,100...2,700 ГГц:

- отводится под фиксированную и радиолокационную и спутниковую службы, службу космических исследований и имеет категорию правительственного назначения в национальном распределении;

- 2,170...2,200 ГГц – для использования средствами подвижной спутниковой радиосвязи;

- 2,5...2,7 ГГц – для используется системами MMDS и телевидения;

- 2,4...2,4835 ГГц – для сетей с использованием технологии RadioEthernet различных производителей.

3,4...3,8 ГГц.

РЭС военного назначения и магистральные радиорелейные линии

5,15...5,850 ГГц:

- 5,15...5,725 ГГц – относится к категории правительственного назначения;

- 5,725...5,850 ГГц отнесен к категории «совместного использования»;

- 5,15...5,25 ГГц – для оборудования, используемого военными.

10,000...10,700 ГГц.

Отводится под радиолокацию.

24,500...29,50 ГГц:

- данная полоса частот используется РРЛС и средствами подвижной связи;
- 25,500...27,500 ГГц отводится под фиксированную, подвижную радиосвязь и также имеет категорию «совместного использования»;
- 22,25...29,5 ГГц в РФ практически не используется;
- 27,5...29,5 ГГц – для систем LMDS, предназначается (исключительно) для организации сетей сотового телевидения.

40,5...42,5 ГГц.

В России диапазон остается практически свободным.

Разнос частот передатчика и приемника в сетях радиодоступа как правило составляет от 10 до 100 МГц. Скорость передачи данных может составлять 9,6 кбит/с; 14,4 кбит/с; 19,2 кбит/с; 28,8 кбит/с; 64 кбит/с; 144 кбит/с и больше. Ширина полосы частот радиодиапазона может быть для каждого канала от 0,013 МГц до 3,5 МГц и более.

4.3. Технология WiMAX

Серия стандартов IEEE 802.16 представляет собой рассчитанную на внедрение в городских и сельских беспроводных сетях (WirelessMAN) технологию широкополосной связи, а точнее беспроводного широкополосного доступа операторского класса. В этом его основное отличие от группы стандартов IEEE 802.11.

Технические характеристики предыдущей версии стандарта – IEEE 802.16а, утвержденные в январе 2003 г. и предусматривающие работу оборудования в диапазоне от 2 до 11 ГГц, позже вошли в стандарт IEEE 802.16-2004 [26, 41].

Широкий диапазон частот (от 2 до 66 ГГц), предусматриваемый стандартом IEEE 802.16-2004, позволяет развертывать каналы передачи данных с высокой пропускной способностью с использованием передатчиков, устанавливаемых на мачтах сетей сотовой связи и высотных зданиях.

Принимающее и передающее оборудование, работающее по этому стандарту, может находиться не только в зоне прямой видимости. Следует отметить, что Европейский эквивалент стандарта IEEE 802.16а называется ETSI HIPERMAN.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – это коммерческое «имя» стандарта беспроводной связи 802.16, подержанного промышленной группой, в состав которой входят известные компании.

WiMAX Forum – организация, в которую входит ряд ведущих коммуникационных компаний (Airspan Networks, Alvarion Ltd, Arperio Networks, Fujitsu Microelectronics America, Intel, OFDM Forum, Proxim Corporation, Wi-LAN Inc и др.). Ее целью является содействие разработке беспроводного оборудования для доступа к широкополосным сетям, скорейшее развертывание сетей во всем мире, сертификация оборудования 802.16, а также подготовка спецификаций, призванных обеспечить совместимость оборудования разных производителей.

По данным WiMAX, базовая станция (БС) стандарта 802.16 способна обслуживать абонентов на удалении до 50 км, при этом последним не потребуется обеспечивать прямой видимости между антеннами БС и абонентского устройства. Скорость передачи данных в разделяемом канале будет достигать 70 Мбит/с на один сектор, что вполне достаточно для предоставления доступа на скорости 1,5 Мбит/с для более чем 60 корпоративных клиентов или обслуживания нескольких сотен домашних пользователей. Обычно БС будут обслуживать до 6 секторов.

В основе системы кодирования, применяемой в этой технологии лежит, так называемая, ступенчатая конструкция, суть которой состоит в следующем: после ортогонального преобразования параллельные каналы разбиваются на подгруппы с близкими друг к другу отношениями сигнал/шум. Сигналы внутри одной и той же подгруппы модулируются квадратурной амплитудной модуляцией (QAM) одной и той же кратности. Так, например, может оказаться N1 сигналов с модуляцией QAM2, N2 сигналов с модуляцией QAM4, N3 сигналов с модуляцией QAM16, N4 сигналов с модуляцией QAM64. Естественно $N1 + N2 + N3 + N4 + \text{защитный интервал} + \text{некоторый запас} = N$.

Далее единая конструкция из N параллельных каналов кодируется единым корректирующим кодом, исправляющим ошибки. Если N достаточно велико, корректирующий код и его алгоритм декодирования оптимальны, канал измеряется точно и его изменения быстро отслеживаются, то реализуется оптимальная схема с отличием от пропускной способности Шеннона на доли децибелл.

Для WiMAX-совместимого оборудования на физическом уровне в качестве размера блока FFT выбрано $N = 256$, из которых 192 поднесущие информационные, 8 – для измерения характеристик канала, остальные могут тратиться на защитные интервалы от $1/4$ до $1/32$. В стандарте выбраны параметры QAM от 2 до 256: мощная каскадная кодовая конструкция с внутренним сверточным кодом с декодированием по алгоритму Витерби и внешним кодом Рида-Соломона. Опционально может использоваться другая кодовая конструкция на основе турбо-кодов.

Предусмотрен специальный режим векторной OFDM – OFDMA, когда сигналы 16 абонентов могут объединяться в общий OFDM-кадр. Это обеспечивает взаимную ортогональность абонентов в эфире, минимизирует их мощности и может приводить к дополнительному системному энергетическому выигрышу до 12 дБ.

Заложенная в стандарт сигнально-кодовая конструкция в принципе адаптивна – система подстраивается к характеристикам канала в каждый момент времени, «перекачивая» скорость в помехоустойчивость и наоборот (рис. 4.5). Так, например, в идеальном по энергетике канале все поднесущие OFDM будут работать с модуляцией QAM64 с минимальной избыточностью сверточного кода $3/4$, обеспечивая частотную эффективность 4,5 (бит/с)/Гц при отношении сигнал/шум 24 дБ. В условиях наихудшей энергетике модуляция для всех поднесущих будет QAM2, сверточный код – со скоростью $1/2$, частотная эффективность – 1 (бит/с)/Гц, а отношение сигнал/шум – 6 дБ. Все это обеспечивает дополнительный системный выигрыш 18 дБ.

Также в стандарт заложены возможности использования технологии «интеллектуальных» антенн, что может обеспечивать дополнительный энергетический выигрыш в канале с замираниями не менее 30 дБ. Эти технологии могут использоваться в различных комбинациях – от простого пространственного разнесения на передающей или приемной стороне – до сложной «интеллектуальной» системы, практически означающей организацию нового вида множественного доступа – пространственного.

На MAC-уровне используются следующие основные идеи. Линии «вверх» и «вниз» управляются базовой станцией, абоненты «не слышат» друг друга, в протоколе учитывается задержка распространения сигнала. Поддерживается качество обслуживания абонента (QoS).

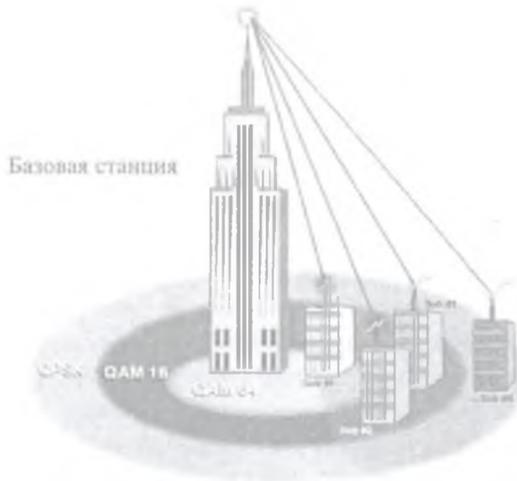


Рис. 4.5. Адаптация скорости передачи к характеристикам среды передачи

Предусмотрена оптимизация размера передаваемого блока для минимизации потерь – маленькие блоки объединяются при передаче, а большие наоборот дробятся. Поддерживается также внешнее обнаружение ошибок. Предусмотрено временное и частотное дуплексирование, различные диапазоны частот и разные полосы сигнала в эфире от 1,75 до 10 МГц. Также в стандарте IEEE 802.16e предусмотрена поддержка мобильности абонентов.

В табл. 4.1 приведены сравнительные характеристики разных версий стандарта IEEE 802.16.

Таблица 4.1

Сравнительные характеристики разных версий стандарта IEEE 802.16

Характеристики	Стандарт WiMAX		
	802.16	802.16a	802.16e
Дальность действия	До 8 км	До 40 км	Не ограничена
	Средний радиус соты 1,5...5 км	Средний радиус соты 6...10 км	Средний радиус соты 1,5...5 км

Характеристики	Стандарт WiMAX		
	802.16	802.16a	802.16e
Условия связи	В пределах прямой видимости	Вне пределов прямой видимости	Вне пределов прямой видимости
Диапазон частот	10...66 ГГц (лицензируемый)	2...11 ГГц (лицензируемый/открытый)	2...6 ГГц (лицензируемый/открытый)
Модуляция	QPSK, Q16AM, QAM64	OFDM 256, OFDMA, QAM64, QAM16, QPSK	OFDM 256, OFDMA, QAM64, QAM16, QPSK
Поддержка мобильности	Стационарный	Стационарный	Региональный роуминг – мобильность при передвижении пешком
Спектральная эффективность	До 4,8 (бит/с)/Гц	До 3,75 (бит/с)/Гц	До 3 (бит/с)/Гц
Скорость передачи данных	До 134 Мбит/с (полоса 28 МГц)	До 75 Мбит/с (полоса 20 МГц)	До 15 Мбит/с (полоса 5 МГц)

Контрольные вопросы

1. На какие два класса можно разделить технологии радиосвязи?
2. К разновидностям каких технологий относится лазерная связь?
3. Какова скорость передачи данных широкополосных услуг связи?
4. Чем характеризуется мобильная связь первого поколения?
5. Чем характеризуется мобильная связь второго поколения?
6. Какие стандарты можно отнести к мобильным сетям связи третьего поколения?
7. Какое общее название имеет серия стандартов IEEE 802.11?
8. Каков радиус действия точки доступа WiFi?
9. К какому классу относится технология WiMAX?
10. Какие виды модуляции может использовать технология WiMAX?
11. Что понимается под адаптивной модуляцией?
12. В чем отличие технологии WiMAX различных версий?
13. Что понимается под межсетевым роумингом?
14. Каков радиус соты в сетях WiMAX?

Глава 5. Технологии xDSL

5.1. Обзор и классификация технологий xDSL

В аббревиатуре xDSL символ x означает то или иное решение технологии DSL. DSL (Digital Subscriber Line) – высокоскоростная цифровая передача по абонентской линии. Обеспечивает возможность увеличения скорости передачи в прямом направлении (сеть – пользователь) и в обратном (пользователь – сеть), при этом возможна одновременная передача «голос+данные» (Data Over Voice) [1–3, 6, 7, 10, 12, 14, 16–23, 34].

Технологии xDSL классифицируются.

1. По средам передачи: радиопередача; оптоволокно; ЛЭП; медные линии.

Наиболее широко используются технологии xDSL на медных линиях.

2. По способу передачи: симплекс; дуплекс; полудуплекс.

В зависимости от времени, необходимого для передачи в обоих направлениях, различают xDSL с разделением по постоянной и переменной временной сетке.

3. При дуплексной передаче различают:

- симметричные xDSL (SDSL);
- асимметричные xDSL (ADSL).

5.1.1. Симметричные технологии xDSL

Классификация симметричных технологий xDSL приведена на рис. 5.1:

– симметричные технологии xDSL (SDSL) различают по числу пар используемых проводов;

– при использовании 3-х пар проводов применяют технологию HDSL со скоростью передачи 784 кбит/с, нормированную в ETSI.

– при использовании 2-х пар проводов применяют технологию HDSL, нормированную в ETSI и ANSI;

– при использовании одной пары проводов применяют технологию SDSL/SP-DSL, ненормированную.



Рис. 5.1. Классификация симметричных технологий xDSL

IDSL (ISDN DSL) – нестандартизированная технология передачи данных по одной медной паре со скоростью до 128 кбит/с. При реализации технологии задействуется метод передачи 2B1Q с эхокомпенсацией и используются те же модемы или терминальные адаптеры, что и в сетях ISDN, однако технология IDSL, в отличие от ISDN, поддерживает режим постоянного соединения с провайдером. IDSL может применяться для организации одновременной передачи речи и данных по одной витой паре на большие расстояния (до 40 км).

HDSL (High-bit-rate DSL) – технология передачи потоков T1 (1544 кбит/с) по двум витым парам (стандарт ANSI – T1.TR.28) или потоков E1 (2048 кбит/с) по трем витым парам (стандарт ETSI – TS 101 135). В технологии используются методы передачи 2B1Q или QAM (QAM-8 – QAM-256). Системы передачи на базе HDSL-технологии имеют большую длину регенерационного участка и поэтому находят широкое применение при организации и модернизации трактов E1 и T1, объединении сегментов LAN, организации выносов и т.п. Технология HDSL стандартизирована также ITU-T (Рек. G.991.1).

SDSL (Symmetrical/single pair DSL) – вариант HDSL, рассматриваемый как самостоятельная технология, в которой используется для передачи одна витая пара. Реализуемая скорость – от 128 до 2320 кбит/с, метод передачи – 2B1Q. Оборудование SDSL используется, в частности, для связи сетей LAN по телефонным линиям.

MDSL (Moderate speed DSL) – «среднескоростной» вариант SDSL (от 384 до 1168 кбит/с). В технологии используется код 2B1Q с адаптацией скорости передачи к условиям связи.

MSDSL (Multirate Symmetrical/single pair DSL) – вариант SDSL со скоростью передачи от 144 до 2320 кбит/с. При реализации MSDSL используется модуляция CAP с адаптацией скорости передачи к условиям связи.

SHDSL (Single-pair High-speed DSL) – стандартизованная ITU-T (Рек. G.991.2) технология передачи цифровых потоков со скоростью от 192 до 2320 кбит/с по одной витой паре. Предусмотрена возможность работы по двум витым парам со скоростью от 384 до 4640 кбит/с. Полоса частот 0,05...0,35 МГц. Метод передачи TC-PAM обеспечивает спектральную совместимость при работе по одному кабелю оборудования SHDSL с системами ISDN, HDSL, ADSL. В технологии заложены возможности работы в МСС на базе транспортных технологий ATM, IP, Frame Relay.

HDSL2/4 – стандартизованная ANSI (T1.TRQ.06-2001) технология передачи потока T1 по одной или двум витым парам, являющаяся аналогом SDSL для скоростей передачи до 1,5 Мбит/с. Используется метод передачи – TC-PAM.

VDSL (Very high speed DSL) – симметричный режим работы VDSL-систем, предусмотренный стандартом TS 101 270 организацией ETSI. Скорость передачи цифровых потоков по обычной медной паре достигает 13 Мбит/с.

5.1.2. Асимметричные технологии xDSL

Первоначально развитие симметричных технологий xDSL в основном было ориентировано на потребности делового сектора, а асимметричные технологии xDSL были предназначены для частного сектора. Такой подход определил существенную разницу в требованиях к ним. В частном секторе было необходимо, чтобы уже существующая телефонная служба (ТфОП или BRI-ISDN) продолжала работать и при переходе на ADSL. Иначе говоря, помимо телефонной службы требовалось обеспечить и передачу данных. С целью разделения речевых сигналов и сигналов передачи данных введены частотные разветвительные фильтры (разветвители-сплиттеры). На рис. 5.2. приводится классификация асимметричных технологий xDSL.

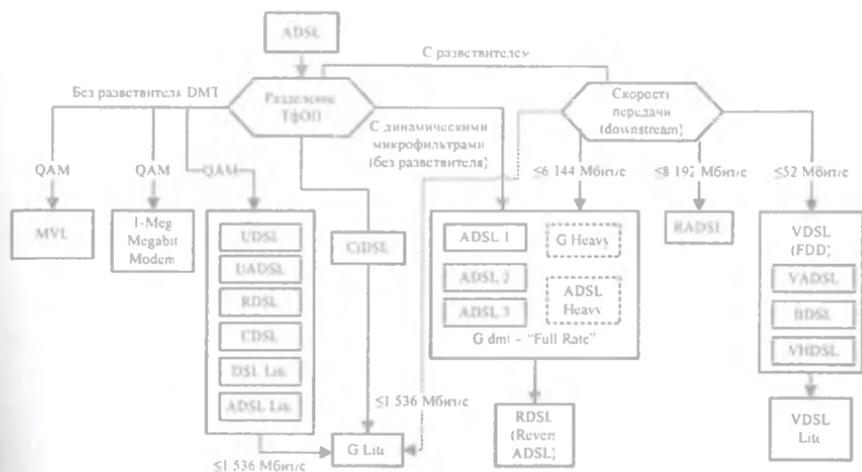


Рис. 5.2. Классификация асимметричных технологий xDSL:
ТФОП – телефонная сеть общего пользования; QAM – квадратурно-амплитудная модуляция; DMT – дискретная многочастотная модуляция

ADSL (Asymmetrical DSL) – технология передачи цифровых потоков со скоростями (согласно Рек. G.992.1 ITU-T) не менее 6,144 Мбит/с в сторону пользователя и 640 кбит/с в обратном направлении на расстояние до 2,7 км.

Использование метода передачи DMT позволяет обеспечить одновременную высокоскоростную передачу данных и речевых сигналов по одной витой паре. Оборудование ADSL-доступа подключается к транспортным сетям по технологиям SDH и ATM. Помимо ITU-T стандарты для технологии ADSL были разработаны также ANSI (T1.413) и ETSI (TS 101 388).

Во многих решениях ADSL можно регулировать скорость передачи автоматически или вручную в зависимости от качества линии: на линиях хорошего качества можно использовать более высокие скорости передачи. Различные виды технологии ADSL могут использовать различные диапазоны частот.

ADSL2 – технология передачи цифровых потоков по медной паре со скоростями (согласно рек. G.992.3 ITU-T) не менее 8 Мбит/с в сторону пользователя и 800 кбит/с в обратном направлении. Планируется, что скорость передачи в оборудовании ADSL2 будет достигать 12 Мбит/с на расстоянии до 1,5 км, а при использовании технологии инверсного мультиплексирования для ATM IMA

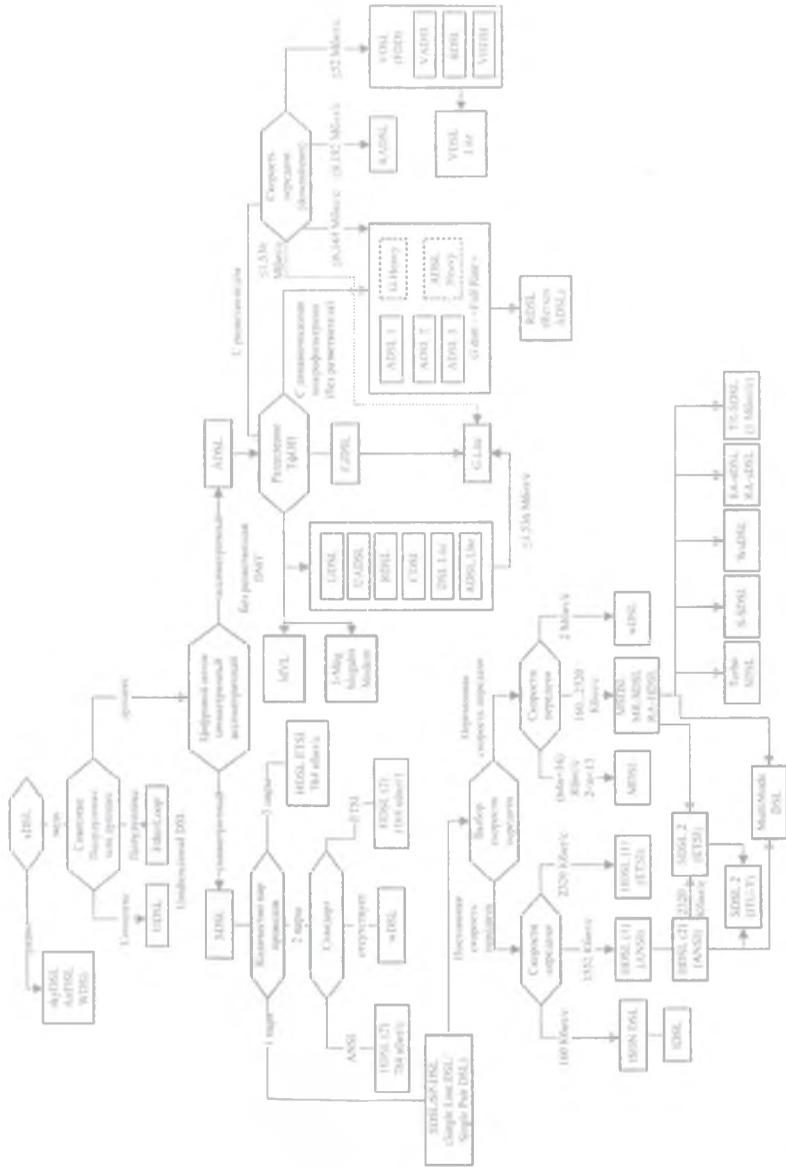


Рис. 5.3. Классификация технологий xDSL

скорость потока, направленного в сторону абонента по 4 витым парам, сможет достигать 40 Мбит/с.

ADSL2+ – требования к технологии определены в Рек. G.992.5 ITU-T, принятой в феврале 2003г. Увеличенная полоса используемых частот (до 2,2 МГц) позволит передавать данные со скоростью до 24 Мбит/с на расстояние около 5 км (реально 16...18 Мбит/с на расстоянии до 3 км).

RADSL (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения). Технология RADSL обеспечивает такую же скорость передачи данных, что и технология ADSL, но при этом позволяет адаптировать скорость передачи к протяженности и состоянию используемой витой пары проводов. При использовании технологии RADSL соединение на разных телефонных линиях может иметь разную скорость передачи данных. Скорость передачи данных выбирается при синхронизации линии, во время соединения или по специальному сигналу, поступающему от станции.

VDSL – технология передачи цифровых потоков по медной паре со скоростью до 52 Мбит/с в сторону пользователя на расстояние до 300 м. В последнее время широкое распространение получает технология Ethernet-over-VDSL (EoV). Технология разрабатывается, прежде всего, для подключения пользователей к сетям АТМ в целях предоставления расширенных сервисов.

G.Lite (Universal ADSL) – технология передачи цифровых потоков по обычной медной паре со скоростями (согласно Рек. G.992.2 ITU-T) не более 1,536 Мбит/с в сторону пользователя и 512 кбит/с в обратном направлении на расстояние до 3,5 км. Данная технология, в которой используется метод передачи DMT, разработана для организации доступа в Интернет по витой медной паре как альтернатива дорогостоящему ADSL-доступу.

G.Lite2 – требования к технологии определены в рек. G.992.4 ITU-T.

Полная классификация технологии xDSL приведена в виде «дерева» на рис. 5.3.

Следует учитывать, что востребованность определенной технологии xDSL связана как с ее характеристиками, так и с особенностями современного спроса на услуги связи.

5.2. Алгоритмы модуляции, применяемые в технологиях xDSL

5.2.1. Алгоритм модуляции 2B1Q

Описание алгоритма

Алгоритм линейного кодирования 2B1Q (2 Binary, 1 Quaternary) был первоначально предложен для использования в качестве протокола физического уровня в точке сопряжения U для BRI интерфейса сети ISDN [36]. Алгоритм 2B1Q представляет собой один из вариантов реализации алгоритма амплитудно-импульсной модуляции с четырьмя уровнями выходного напряжения без возвращения к нулевому уровню (NRZ). Для формирования линейного кода входной информационный поток делится на кодовые группы по два бита в каждой. В зависимости от комбинации значений битов кодовой группы ей ставится в соответствие один из четырёх кодовых символов, каждому из которых в свою очередь ставится в соответствие один из уровней кодового напряжения.

Кодовая группа	Кодовый символ	Кодовое напряжение, В
00	-3	+2,5
01	-1	+0,833
10	-3	2,5
11	-1	0,833

Таким образом, закодированный в соответствии с правилами алгоритма 2B1Q сигнал представляет собой последовательность скачкообразно изменяющихся напряжений:

01	10	11	11	00	11	01	01	00	00	11	10	10	01	00
-1	+3	+1	+1	-3	+1	-1	+3	-3	-3	+1	+3	+3	-1	-3

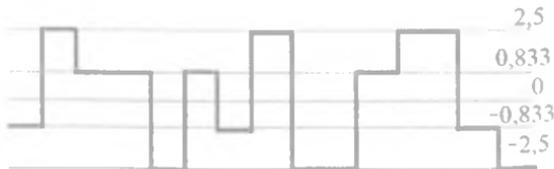


Рис. 5.4. Пример 2B1Q модуляции

Поскольку в данном случае двум битам немодулированного сигнала ставится в соответствие один кодовый символ, информационная скорость (data rate, скорость передачи данных) в два раза превышает символьную (symbol rate), это означает, что модуляционная схема 2B1Q обеспечивает постоянную величину спектральной эффективности модулированного сигнала Θ равного 2 бита/Гц.

В отличие от некоторых других алгоритмов линейного кодирования (например, AMI) рассматриваемый алгоритм не обеспечивает поддержание баланса положительных и отрицательных импульсов выходного напряжения и, следовательно, входной код 2B1Q должен быть предварительно обработан специальными процедурами, которые должны обеспечить подавление постоянной составляющей (скремблирование). Системы передачи данных, которые используют этот алгоритм линейного кодирования, способны обеспечить скорость передачи данных от 64 до 2320 Кбит/с. Нормативными документами не определена величина шага изменения информационной скорости, поэтому в различных реализациях эта величина может принимать различные значения (от 8 до 64 Кбит/с).

Характеристики алгоритма

Энергетический спектр сигнала

Ниже на рис. 5.5 приведены графики спектральных плотностей (Power Spectrum Density PSD) 2B1Q – модулированных сигналов.

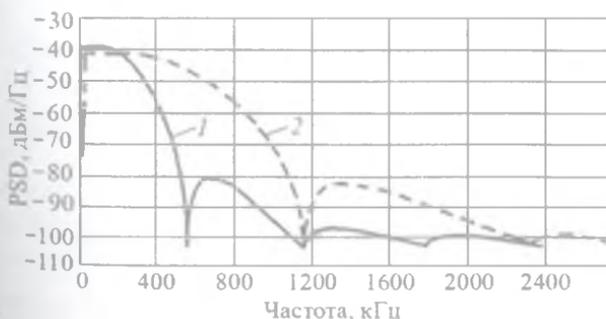


Рис. 5.5. Энергетический спектр 2B1Q-модулированного сигнала:
1 – 1168 кбит/с; 2 – 2320 кбит/с

Мощность передаваемого в линию сигнала

Значение мощности 2В1Q-модулированного сигнала, измеренное в диапазоне от 0 Гц до F_{sum} при импедансе линии 135 Ом, должно удовлетворять соотношению:

$$P = (13,5 + 0,5) \text{ дБм}$$

Требования к характеристикам линейных устройств

Значение величины затухания возвращаемого сигнала (Return Loss, RL), измеренного по отношению к 135 Ом в диапазоне от 0 Гц до F_{sum} , должно быть не менее 12 дБ (этот параметр определяет значение допустимого воздействия передаваемого в линию сигнала на принимаемый сигнал.)

Соотношение сигнал/шум

На диаграмме (рис. 5.6) представлена зависимость соотношения SNR (Signal-Noise Ratio) от расстояния распространения 2В1Q – модулированных сигналов, которые обеспечивают передачу данных со скоростями 1168 и 2320 кбит/с.

Область применения алгоритма

Помимо своего основного применения в ISDN алгоритм линейного кодирования 2В1Q, нашел достаточно широкое применение в устройствах xDSL с симметричными скоростями передачи данных HDSL и SDSL. Поскольку из-за особенностей спектра 2В1Q – моду-

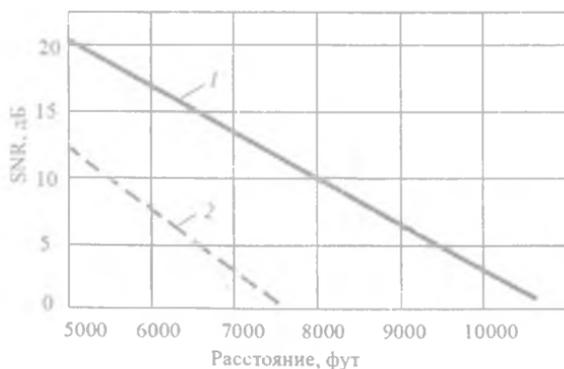


Рис. 5.6. Соотношение сигнал/шум для 2В1Q сигнала:
1 – 1168 кбит/с; 2 – 2320 кбит/с

лированного сигнала передаваемый и принимаемый сигнал не могут быть разнесены в различные частотные области, реализации SDSL в данном случае должны использовать механизм подавления эха передаваемого сигнала в приемнике (echo-cancellation).

Достоинства и недостатки алгоритма 2B1Q

Несомненным достоинством данного алгоритма является простота и дешевизна его реализации. Немаловажным фактором является также наличие большого числа регламентирующих документов (в том числе спецификация ANSI T1.601-1999, ISDN Basic Access Interface for Use on Metallic Loops for Application at the Network Side of NT, Layer 1 Specification).

К недостаткам этого метода линейного кодирования следует отнести крайне невысокую спектральную эффективность и, следовательно, ограниченные возможности для передачи информационного сигнала по зашумленным линиям с большим затуханием. Кроме того, спектр амплитудно-импульсного модулированного сигнала является бесконечным и его максимум приходится на диапазон звуковых частот.

5.2.2. Алгоритм модуляции QAM

Описание алгоритма

Алгоритм квадратурной амплитудной модуляции (QAM, Quadrature Amplitude Modulation) представляет собой разновидность многопозиционной амплитудно-фазовой модуляции. Этот алгоритм широко используется при построении современных модемов ТЧ.

При использовании данного алгоритма передаваемый сигнал кодируется одновременными изменениями амплитуды синфазной I и квадратурной Q компонент несущего гармонического колебания f_c , которые сдвинуты по фазе друг относительно друга на $\pi/2$ радиана. Результирующий сигнал Z формируется при суммировании этих колебаний. Таким образом, QAM-модулированный дискретный сигнал может быть представлен соотношением:

$$Z_m(t) = I_m \cos(2\pi f_c t) + Q_m \sin(2\pi f_c t),$$

где t – изменяется в диапазоне $\{(m-1)\Delta t \dots m\Delta t\}$; m – порядковый номер дискрета времени; Δt – шаг квантования входного сигнала по

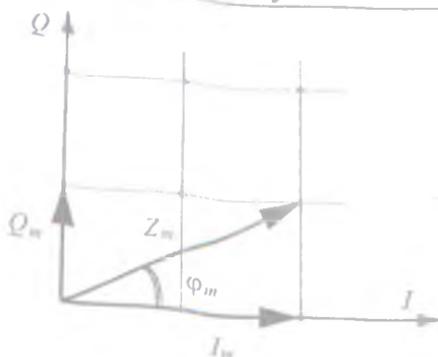


Рис. 5.7. Принцип формирования результирующего колебания

времени; $I_m = \alpha_m \cdot p$, $Q_m = \beta_m \cdot p$ (α_m и β_m – модуляционные коэффициенты, p – шаг квантования входного сигнала по амплитуде).

На рис. 5.7. представлен принцип формирования результирующего колебания Z (вектор, направленный под углом φ_m к оси I) путем суммирования вектора квадратурной составляющей Q с вектором синфазной составляющей I . Амплитуда вектора Z определяется соотношением Z_m , а угол, который этот вектор образует с осью абсцисс, определяется соотношением φ_m .

Для данного алгоритма существенно, что при модулировании синфазной и квадратурной составляющей несущего колебания используется одно и то же значение дискрета изменения амплитуды. Поэтому окончания векторов модулированного колебания образуют прямоугольную сетку на фазовой плоскости действительной – $\text{Re}\{Z\}$ и мнимой составляющей вектора модулированного сигнала – $\text{Im}\{Z\}$.

Число узлов этой сетки определяется типом используемого алгоритма QAM. Схему расположения узлов на фазовой плоскости модулированного QAM колебания принято называть созвездием. Для указания типа алгоритма QAM принята следующая схема обозначения:

QAM – $\langle \text{число} \rangle$,

где «число» обычно представляет собой значение вида 2^N и соответствует количеству узлов на фазовой сетке, а также максимальному количеству различных значений вектора модулированного сигнала. Следует отметить, что в данном случае значение N соот-

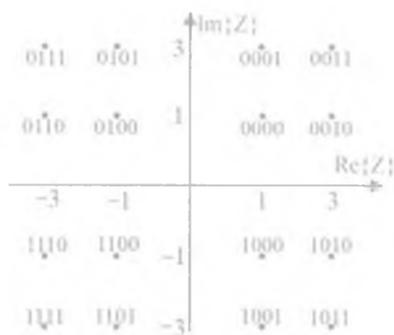


Рис. 5.8. Расположение векторов модулированного колебания

ветствует показателю спектральной эффективности используемого алгоритма. На рис. 5.8. представлено расположение векторов модулированного колебания – созвездие для алгоритма QAM-16.

Преобразование модуляционных символов в кодовые символы выполняется с применением алгоритмов Грея для помехоустойчивого кодирования данных. Векторам модулированного колебания, которые находятся близко один от другого на фазовой плоскости, ставятся в соответствие значения кодовых символов, которые отличаются значениями только одного бита.

Характеристики алгоритма

Алгоритм квадратурной амплитудной модуляции, по сути, является разновидностью алгоритма гармонической амплитудной модуляции и поэтому обладает следующими важными свойствами:

1. Ширина спектра QAM-модулированного колебания не превышает ширину спектра модулирующего сигнала
2. Положение спектра QAM-модулированного колебания в частотной области определяется номиналом частоты несущего колебания.

Эти полезные свойства данного алгоритма обеспечивают возможность построения на его основе высокоскоростных ADSL систем передачи данных по двухпроводной линии с частотным разделением принимаемого (downstream) и передаваемого (upstream) информационных потоков. Конкретная реализация алгоритма QAM определяет значения следующих параметров:

- размерность модуляционного символа (\log_2 количества точек созвездия) N [бит];

- значение символьной скорости f_{symbol} [Кбод/с];
- центральная частота (central rate) f_c .

Значение информационной скорости V – скорости передачи данных для алгоритма QAM определяется следующим соотношением:

$$V = N \cdot f_{\text{symbol}}$$

Центральная частота f_c для конкретной реализации алгоритма модуляции определяется соотношением

$$f_n + f_{\text{symbol}} / 2 \leq f_c \leq f_b - f_{\text{symbol}} / 2,$$

где f_n – нижняя граница спектра модулированного сигнала; f_{symbol} – значение символьной скорости; f_c – центральная частота; f_b – верхняя граница спектра модулированного сигнала.

Энергетический спектр сигнала

Параметры огибающих линий (масок) энергетических спектров модулированных сигналов ADSL приведены в стандарте T1.413 ANSI. Использование этих масок обеспечивает необходимый уровень электромагнитной совместимости сигналов различной природы, которые передаются по различным парам в одном кабеле. Независимо от типа используемого алгоритма модуляции, энергетический спектр модулированного сигнала не должен выходить за пределы установленной маски.

На рис. 5.9 представлено схематическое изображение маски для исходящего (upstream) потока ADSL.

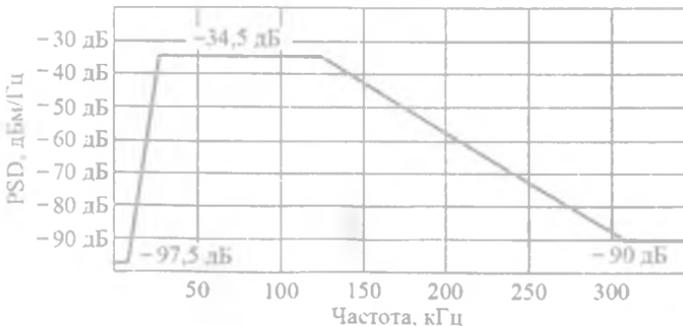


Рис. 5.9. Схематическое изображение маски для исходящего потока ADSL.

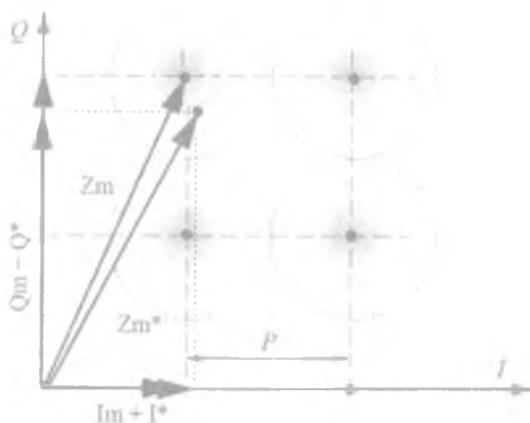


Рис. 5.10. Ошибочное распознавание искаженного принятого вектора Z_m^* на приемной стороне

Примерно такую же форму имеет маска для входящего (downstream) потока ADSL.

Помехоустойчивость алгоритма QAM обратно пропорциональна его спектральной эффективности. Воздействие помех приводит к возникновению неконтролируемых изменений амплитуды и фазы передаваемого по линии сигнала. При увеличении числа кодовых точек на фазовой плоскости расстояние между ними P уменьшается и, следовательно, возрастает вероятность ошибочного распознавания искаженного принятого вектора Z_m^* на приемной стороне (рис. 5.10).

Предельный уровень допустимых амплитудных и фазовых искажений модулированного QAM сигнала представляет собой круг диаметром P . Центр этого круга совпадает с узлом квадратурной сетки на фазовой плоскости. Заштрихованные области на рисунке соответствуют координатам искаженного вектора модулированного QAM-колебания при воздействии на полезный сигнал помехи, относительный уровень которой определяется соотношением $20 \text{ дБ} \leq \text{SNR} \leq 30 \text{ дБ}$.

На диаграмме (рис. 5.11) сплошными линиями представлены зависимости ожидаемого значения BER от соотношения SNR для различных вариантов алгоритма QAM-модуляции. Использование дополнительного кодирования (пунктирные линии) позволяет повысить помехоустойчивость модулированного сигнала.

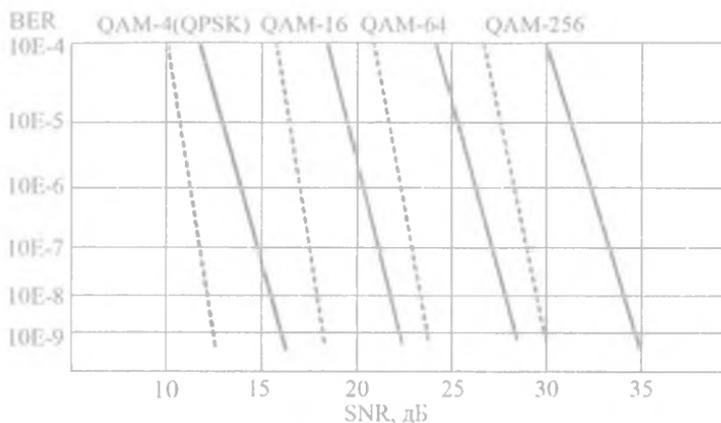


Рис. 5.11. Зависимости ожидаемого значения BER от соотношения SNR

Достоинства алгоритма

Алгоритм квадратурной амплитудной модуляции является относительно простым для реализации и в то же время достаточно эффективным алгоритмом линейного кодирования xDSL сигналов. Ограниченность спектра, относительно высокий уровень помехоустойчивости QAM-модулированного сигнала обеспечивают возможность построения на основе этой технологии высокоскоростных ADSL и VDSL – систем передачи данных по двухпроводной линии с частотным разделением принимаемого и передаваемого информационных потоков.

Недостатки алгоритма

К недостаткам алгоритма можно отнести относительно невысокий уровень полезного сигнала в спектре модулированного колебания. Этот недостаток является общим для алгоритмов гармонической амплитудной модуляции и выражается в том, что максимальную амплитуду в спектре модулированного колебания имеет гармоника с частотой несущего колебания. Поэтому данный алгоритм в чистом виде достаточно редко используется на практике.

5.2.3. Алгоритм модуляции CAP

Алгоритм амплитудно-фазовой модуляции с подавлением несущей Carrierless Amplitude Modulation/Phase Modulation (CAP) является одним из наиболее широко используемых в настоящее время на DSL линиях алгоритмов модуляции.

Алгоритм CAP представляет собой одну из разновидностей алгоритма QAM, его особенность заключается в специальной обработке модулированного информационного сигнала перед его отправкой в линию. В процессе этой обработки из спектра модулированного сигнала исключается составляющая, которая соответствует частоте несущего колебания QAM. После того, как приемник принимает переданный информационный сигнал, он сначала восстанавливает частоту несущего колебания, а после этого восстанавливает информационный сигнал. Такие манипуляции со спектром выполняются для того, чтобы уменьшить долю неинформативной составляющей в спектре передаваемого информационного сигнала. Это в свою очередь делается для того, чтобы обеспечить большую дальность распространения сигнала и уменьшить уровень перекрестных помех у сигналов, которые передаются одновременно в одном кабеле.

Описание алгоритма

На рис. 5.12,а отмечен спектр передаваемого полезного сигнала. Максимальная частота этого сигнала имеет значение f_{\max} . Частота модулирующего колебания – носителя имеет значение f_c .

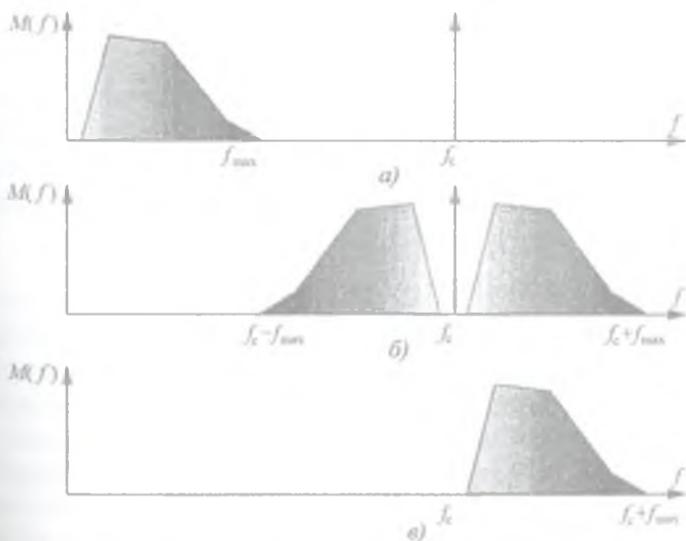


Рис. 5.12. Преобразования, выполняемые в модуляции CAP

После выполнения процедуры гармонической амплитудной модуляции спектр полезного сигнала переносится в область частоты f_c и приобретает зеркальные составляющие (рис. 5.12,б). Для обеспечения восстановления переданного сигнала на приемном окончании достаточно передать только одну из зеркальных компонент спектра модулированного сигнала.

Гармоника с частотой f_c также является компонентом спектра модулированного сигнала, однако при восстановлении сигнала и без неё тоже можно обойтись. Теоретически амплитуда этой гармоники несет информацию об уровне постоянной составляющей передаваемого сигнала (составляющая спектра сигнала с частотой, равной нулю). В силу этого данная гармоника не является в полной мере информативной, и её потеря не повлияет на качество восстановленного принятого сигнала. Хотя исключение гармоники f_c из передаваемого сигнала приводит к возникновению определенных трудностей при восстановлении принятого сигнала, эта процедура вполне оправдана, поскольку позволяет существенно уменьшить уровень неинформативного сигнала, который передается в линию. На рис. 5.12,в показан спектр модулированного колебания, который сформирован в соответствии с принципами алгоритма CAP.

Таким образом, основные принципы формирования линейного кода алгоритма CAP соответствуют принципам формирования линейного кода QAM. Отличия указанных алгоритмов заключаются во включении дополнительных процедур, которые используются для формирования и восстановления спектра CAP-модулированного сигнала. Поэтому, по крайней мере, теоретически, приемник CAP может взаимодействовать с передатчиком QAM.

Характеристики алгоритма

На рис. 5.13 представлено схематическое изображение спектров CAP-модулированных MSDSL сигналов. В данном случае применение алгоритма CAP целесообразно, поскольку при использовании пересекающихся частотных диапазонов передаваемого и принимаемого сигналов одним из основных факторов, который ограничивает дальность распространения сигнала в линии, является степень эффективности подавления в приемнике эха передаваемого сигнала (echo cancellation). Поскольку в общем случае, уровень сигнала, который передается в линию формирователями CAP, ниже

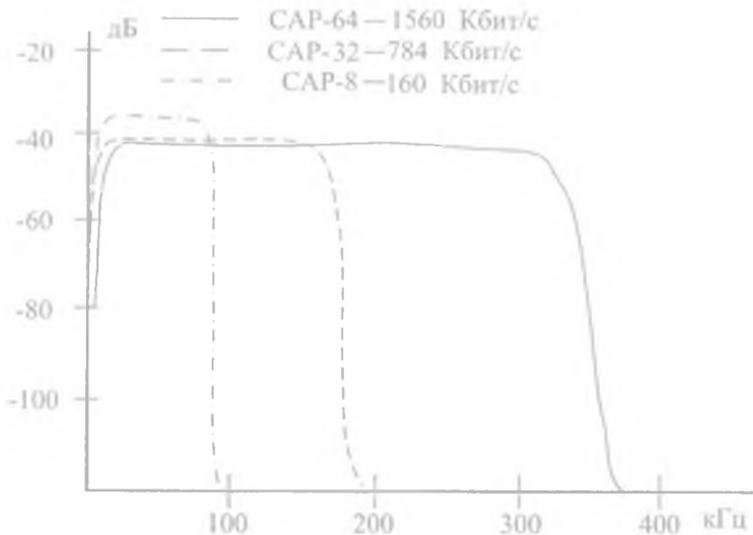


Рис. 5.13. Схематическое изображение спектров CAP-модулированных MSDSL сигналов

(за счет подавления несущей), следовательно, меньше будет и уровень эха от передатчика.

С не меньшим успехом этот алгоритм может быть использован для формирования линейного кода в асимметричных высокоскоростных приемо-передающих системах технологий ADSL и VDSL. Для этих технологий существенным фактором является возможность частотного разделения информационных сигналов, которые одновременно принимаются и передаются по одной паре проводов.

Достоинства алгоритма

Поскольку алгоритм амплитудно-фазовой модуляции с подавлением несущей является, по сути, алгоритмом типа QAM, ему свойственны все положительные качества, которые присущи этому классу алгоритмов – относительная простота реализации и высокая спектральная эффективность.

Несомненным достоинством собственно алгоритма CAP является высокая энергетическая эффективность формируемого сигнала. Именно этот алгоритм теоретически способен обеспечить максимальные значения соотношения SNR и, следовательно, передачу сигнала на наибольшие расстояния.

Недостатки алгоритма

Основным недостатком этого метода является отсутствие стандартизирующего документа, который определяет процедуры, в соответствии с которыми выполняется преобразование сигнала. Другой причиной является недостаточная гибкость лицензионной политики, которую проводит хозяин патента на CAP. Эти причины, которые нельзя назвать техническими в то же время являются достаточно вескими, для того, чтобы сдерживать процессы внедрения алгоритма CAP в перспективные системы DSL.

5.2.4. Алгоритм модуляции DMT

Описание алгоритма

Алгоритм дискретной многотональной модуляции DMT (Discrete Multitone) построен по принципиально иной, чем у представленных выше алгоритмов, схеме. В отличие от алгоритмов QAM, данный алгоритм использует не одну, а группу частот несущих колебаний. При использовании этого алгоритма модуляции весь расчетный частотный диапазон линии делится на несколько участков шириной по 4,3125 кГц. Каждый из этих участков используется для организации независимого канала передачи данных.

На рис. 5.14 представлен вариант частотной организации входящего потока стандарта G.DMT для варианта «echo cancellation». Для данного варианта в направлении абонента организуется 249 частотных каналов. Кроме того, для этого варианта характерно, что частотные диапазоны, которые используются для передачи данных входящего и исходящего информационных потоков перекрываются.

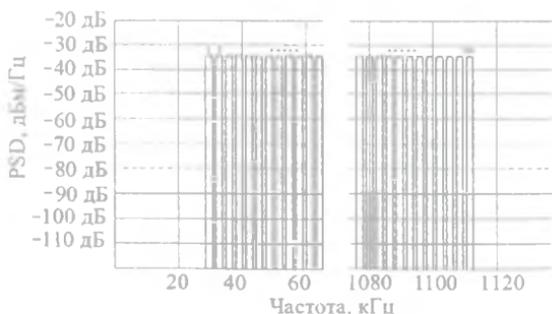


Рис. 5.14. Вариант частотной организации входящего потока

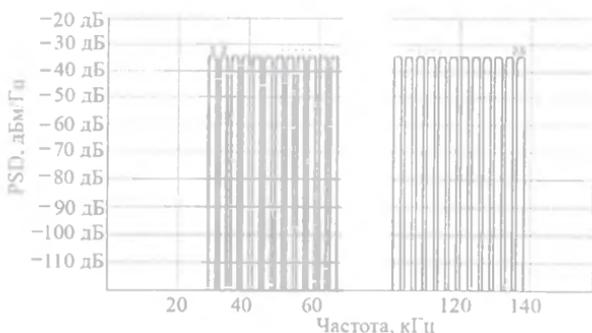


Рис. 5.15. Вариант частотной организации входящего потока G.DMT

На приведенном рис. 5.15 представлен вариант частотной организации входящего потока G.DMT для 25 частотных каналов.

На этапе проверки качества линии передатчик, исходя из уровня помех в частотном диапазоне участка, для каждого из этих каналов выбирает подходящую модуляционную схему. На чистых каналах с малым уровнем шумов могут быть использованы алгоритмы с большими значениями M , например, QAM-64, в то время как на более зашумленных участках могут быть использованы более простые алгоритмы модуляции, например QPSK. Очевидно, что использование такого принципа регулирования скорости передачи данных, позволяет наиболее точно согласовывать параметры модулированного сигнала с параметрами линии, по которой он будет передаваться. При передаче данных информация распределяется между независимыми каналами пропорционально их пропускной способности, приемник выполняет операцию демультимплексирования и восстанавливает исходный информационный поток. Рисунки, которые приведены ниже, иллюстрируют описанный выше процесс адаптации.

На рис. 5.16 вертикальными линиями обозначена неадаптированная частотная характеристика DMT – передатчика. Пунктирная кривая (в диапазоне частот от 0 до >1000 кГц) показывает зависимость затухания в линии от частоты передаваемого сигнала. «Вертикальная» пунктирная линия (в диапазоне 600...800 кГц) обозначает частотную помеху, которая постоянно действует в сравнительно небольшом участке в пределах рабочего диапазона частот передатчика.

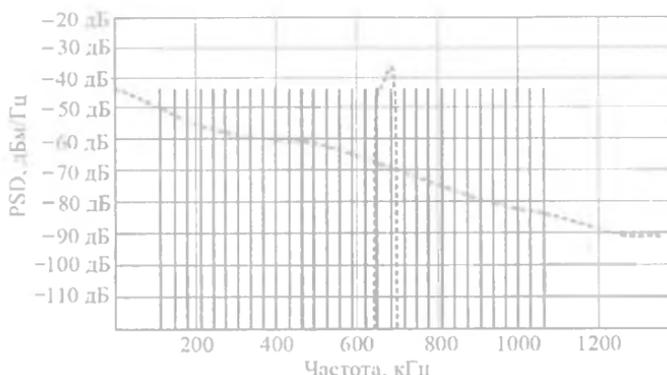


Рис. 5.16. Процесс адаптации к условиям передачи

После выполнения операций согласования пропускной способности элементарных каналов с приведенными частотными характеристиками линии (рис. 5.16), зависимость скоростей передачи данных от частотного номера элементарного канала будет соответствовать кривым, которые приведены на рис. 5.17.

Достоинства алгоритма

К достоинствам этого алгоритма относятся возможность оперативной и точной адаптации приемо-передающих устройств к характеристикам линии и практически повсеместное признание этого алгоритма стандартизирующими организациями.

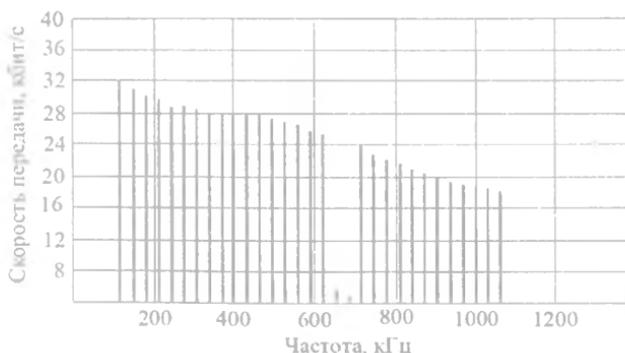


Рис. 5.17. Зависимость скоростей передачи данных

Недостатки алгоритма

Недостатками алгоритма модуляции DMT можно считать его громоздкость и недостаточную технологичность. Алгоритм DMT является наиболее сложным для аппаратной реализации среди всех алгоритмов, которые в настоящее время используются для формирования линейного кода устройств DSL.

5.2.5. Алгоритм модуляции OFDM

Алгоритм Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) является упрощенным вариантом алгоритма DMT. В отличие от DMT, алгоритм OFDM использует единое значение спектральной эффективности η для всех частотных каналов.

Описание алгоритма

Основные принципы и алгоритмы, в соответствии с которыми производится формирование линейного кода OFDM, соответствуют принципам DMT. Единственное существенное отличие этих двух алгоритмов заключается в способе управления пропускной способностью элементарных каналов. Значения пропускной способности элементарных частотных каналов, которые формируются алгоритмом DMT, могут отличаться в различных частотных диапазонах. Алгоритм OFDM использует одно значение пропускной способности и скорости передачи данных для элементарных каналов всего частотного диапазона.

Достоинства алгоритма

К достоинствам многочастотных алгоритмов относится обеспечение высоких скоростей передачи данных и способность нивелировать воздействие на сигнал помех, которые возникают в линии. Несомненным достоинством этих методов также является наличие для них стандартов ITU и ANSI. По сложности реализации алгоритм OFDM занимает промежуточную позицию между алгоритмами CAP и DMT, что делает возможным его применение в малосерийных приложениях.

Недостатки алгоритма

Недостатком алгоритма OFDM можно считать невозможность избирательной адаптации пропускной способности элементарных

каналов к частотным характеристикам линии. Элементарные частотные каналы OFDM должны быть разделены технологическими заградительными интервалами. Чем большее будет число элементарных частотных каналов, тем шире будет совокупная длина частотного интервала, который не может быть использован непосредственно для передачи данных. Следствием этого является невысокая эффективность использования полосы пропускания линии в данном случае.

5.3. Вопросы электромагнитной совместимости при использовании технологий xDSL

5.3.1. Основные сведения

Одной из основных задач применения цепей кабельных линий для оборудования xDSL является решение проблемы электромагнитной совместимости цепей дискретной и аналоговой информации в одном кабеле [5, 11]. Для низкочастотного диапазона частот, где основным видом сообщения является телефонная связь, эта задача регламентирована допустимыми нормами в НЧ-канале. Рекомендации по использованию кабелей ГТС для передачи сигналов дискретной и аналоговой информации приведены в ОСТ 45.81-97. При решении проблем использования существующих кабельных линий для оборудования технологий xDSL стоит вопрос разработки требования к параметрам взаимных влияний между цепями цифровых абонентских линий и всеми видами цепей кабелей, используемых для передачи телефонного сообщения и «нетелефонной информации». В ансамбле цепей дискретной и аналоговой информации должны быть исключены взаимные влияния между цепями, оборудованными устройствами, использующими коды HDB3, 2B1Q, CAP и др. В этом разделе приводятся некоторые сведения, касающиеся проблемы электромагнитной совместимости.

Абонентская проводка обычно не является самым лучшим кабельным сооружением в мире. Часто она имеет низкую категорию и к тому же бывает проложена вопреки всем правилам, поэтому при тестировании абонентской линии следует убедиться, что внутренняя абонентская проводка имеет нужную категорию и выполнена в соответствии с существующими требованиями.

В определенных случаях, например, чтобы избежать воздействия помех, необходимо изменить конфигурацию внутренней проводки.

Помехи и шумы в наши дни не являются главной проблемой традиционной телефонной связи, потому что за многие годы телефонные компании научились поддерживать допустимый и стабильный уровень шумов. Наличие определенного и установленного порога шумов позволяет разработчикам создавать телефонное оборудование с оптимальными характеристиками. Любое повышение среднего уровня шумов приводит к понижению общего качества работы телефонной сети. Многие зарубежные эксперты считают, что широкое распространение технологий DSL приведет к внесению значительных помех в телефонную сеть, с которыми невозможно справиться без осуществления модернизации существующей кабельной сети (закрывающейся, например, в прокладывании кабелей более высокой категории на всех участках абонентской телефонной линии).

Разные высокочастотные системы, обеспечивающие прием и передачу данных по парам одного и того же кабеля в одном спектре частот, могут привести к появлению шумов и перекрестных помех. Перекрестные помехи возникают из-за неудовлетворительного экранирования кабелей, чрезмерной несоразмерности между уровнями сигналов, передаваемых по соседним линиям, асимметрии линий и т.п. Перекрестные помехи могут быть разделены на две категории (рис. 5.18).

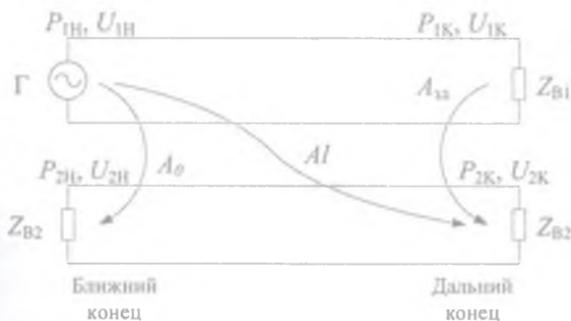


Рис. 5.18. К вопросу определения параметров влияния между цепями в линиях связи

Перекрестные помехи на ближнем конце линии возникают, когда передаваемый по одной паре проводов сигнал оказывает воздействие на принимаемый по другой паре проводов сигнал на том же конце кабеля. Перекрестные помехи на дальнем конце линии возникают, когда сигнал на дальнем конце линии оказывает влияние на ближний конец линии. Перекрестные помехи на дальнем конце линии обычно оказывают меньшее отрицательное воздействие, потому что наведенный сигнал ослабляется, пока перемещается по линии к ближнему концу.

Воздействие одной линии на другую, проявляющееся в виде перекрестных помех, всегда было свойственно телефонной кабельной сети. При традиционной телефонной связи это проявляется в виде посторонних разговоров на линии. При высокоскоростной передаче перекрестные помехи приводят к разрушению передаваемых данных. Кроме перекрестных помех необходимо также учитывать и электромагнитные помехи, возникающие из-за воздействия различных промышленных или бытовых источников помех. Измерение шумов в широкой полосе частот позволит определить помехи, вносимые в абонентскую линию другими системами. При этом для каждой технологии необходимо проводить измерения в определенном спектре частот (в частности, при подготовке линии для подключения системы ADSL необходимо провести измерение в частотном диапазоне как минимум до 1 МГц).

5.3.2. Электрические параметры среды передачи

При одновременной системе связи и размещении передатчика и приемника на одном конце линий нормируется влияния между цепями на ближнем конце, при размещении передатчика и приемника на разных концах – влияние на дальний конец [1–2].

Для обеспечения хорошего качества передачи сигналов необходимо, чтобы их мощность в точке приема P_c превосходила мощность помехи P_n в той же точке.

Превышение мощности сигнала над мощностью помех характеризуется разностью уровня сигнала в рассматриваемой точке цепи и уровня помех P_n называется защищенностью от помех или просто защищенностью:

$$A_3 = \frac{1}{2} \ln \frac{P_c}{P_n}.$$

Для оценки степени взаимного влияния цепей, которое характеризует уровень внятного переходного разговора, МККТТ было введено понятие о переходном затухании.

Переходное затухание есть половина натурального логарифма отношения кажущейся мощности P_1 сигнала в начале влияющей цепи к кажущейся мощности P_2 переходного разговора в рассматриваемой точке, подверженной влиянию, при замыкании концов взаимовлияющих цепей на сопротивления, равные волновым:

$$A = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right|.$$

Величина переходного затухания на ближний конец A_0 , дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности передаваемого сигнала в начале влияющей цепи $P_{1Н}$ к мощности помехи в начале цепи, подверженной влиянию $P_{2Н}$:

$$A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{1Н}}{P_{2Н}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{1Н}}{U_{2Н}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_{B2}}{Z_{B1}} \right|.$$

Величина переходного затухания на дальний конец A_l , дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности сигнала в начале влияющей цепи $P_{1Н}$ к мощности помехи $P_{2К}$ на дальнем конце цепи, подверженной влиянию.

$$A_l = 10 \lg \left| \frac{P_{1Н}}{P_{1К}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{1Н}}{U_{1К}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_{B2}}{Z_{B1}} \right|.$$

Для одинаковых цепей $Z_{в1} = Z_{в2}$.

$$A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{1Н}}{P_{2Н}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{1Н}}{U_{2Н}} \right|,$$

$$A_l = 10 \lg \left| \frac{P_{1Н}}{P_{1К}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{1Н}}{U_{1К}} \right|.$$

Таким образом, если рассматривается влияние между концами взаимовлияющих цепей, когда передатчик и приемник находятся в одном пункте, говорят о переходном затухании при влиянии на

ближний конец A_{0a} , когда передатчик и приемник расположены в разных пунктах – о переходном затухании при влиянии на дальний конец Al .

Для различных систем передачи этот параметр разный: отсутствие переходных разговоров в системах ЧРК, заданная верность передачи в ЦСП.

Параметр защищенности в этом смысле смешивают с параметром защищенности на дальнем конце $A_{зд}$, принятым для оценки возможности применения высокочастотных кабелей для уплотнения системами с ЧРК.

По сути дела $A_{зд}$ – это переходное затухание между цепями на дальнем конце:

$$A_{зд} = 10 \lg \left| \frac{U_{1К}}{U_{2К}} \right|.$$

Переходное затухание между цепями является параметром, определяющим физическую величину, оценивающую конструктивную возможность кабельных линий, и зависит от параметров электромагнитной связи между цепями и рабочего затухания цепи.

Качество же связи зависит от объективного параметра «защищенности», определяющегося величиной приемного сигнала и помехи, влияющей на этот сигнал. То есть защищенность – это более обобщенный параметр, зависящий от уровня передающего сигнала во влияющей цепи, уровня сигнала, пришедшего в точку приема, переходного затухания между цепями и рабочего затухания.

Поэтому главным параметром линейных трактов следует считать «защищенность сигнал-помеха». Введение этого параметра связано с тем, что измерительной техникой практически трудно определить разность уровней $P_{1Н} - P_{2К}$, так как необходимо измерить сигнал, ослабленный рабочим затуханием и переходным затуханием на дальний конец. Измеренный уровень находится за пределами чувствительности прибора. Проще измерить на дальнем конце уровень во влияющей цепи $P_{1К}$ и в цепи, подверженной влиянию $P_{2К}$, и тогда:

$$A_{зд} = P_{1К} - P_{2К}.$$

Нормирование $A_{зд}$ принято для линий с частотным делением каналов для магистральных и зонавых сетей. Кроме того, параметр

«защищенность» (сигнал-помеха), оценивающий качество тракта передачи, учитывает и другие источники помех.

Воздействие ансамбля нескольких влияющих цепей принято оценивать увеличением переходного затухания – $(1/2) \ln N$.

В английской терминологии приняты следующие определения, отличные от отечественной терминологии:

NEXT (Near-End Crosstalk) – переходное затухание на ближнем конце;

FEXT (Far-End Crosstalk) – переходное затухание на дальнем конце.

Мы оцениваем влияние на *дальний* конец, а следовательно переходное затухание на *дальний* конец.

Переходное затухание «на дальнем конце» это, как отмечалось ранее, есть «защищенность на дальнем конце». Отсюда по логике и требования к величине «FEXT» должны быть больше на величину рабочего затухания цепи.

Для оценки качества цифровых трактов, применяют иной подход определения допустимых помех. Наиболее полно вопросы нормирования основного параметра цифровых кабельных линий разработаны А.Ю. Цымом. В основу положена оценка верности передачи информации с учетом спектральных характеристик сигналов, частотных параметров передачи, влияния в ансамбле цепей, внешних помех и аппаратурных искажений (межсимвольные искажения).

Среда передачи для электрических сигналов связи представляет собой ансамбль цепей, заключенных в единую оболочку, конструктивно выполненную в виде кабеля связи. Поэтому процессы взаимных влияний между цепями рассматриваются с учетом присутствия соседних цепей и экрана. При этом учитываются как симметричные соседние цепи, так и несимметричные (экран, цепи питания).

Различают регулярные влияния, которые имеют место при идеальной конструкции кабеля, и нерегулярные – проявляющиеся вследствие конструктивных неоднородностей, возникающих в процессе изготовления кабеля и его эксплуатации. Последние учитываются дополнительно для оценки реальных характеристик цепей.

Совмещение цепей аналоговых (телефонная связь, звуковое вещание) и дискретных (передача данных, телеграфирование, сигналы телематических служб, цифровые системы с интеграцией об-

служивания, телесигнализация, телеуправление) сигналов в линиях местной связи возможно при выполнении условий их электромагнитной совместимости.

Условия электромагнитной совместимости определяют уровень взаимных помех в цепях различного назначения в одном кабеле, при котором обеспечиваются нормируемые достоверность и качество информации, передающейся дискретными и аналоговыми сигналами.

Значение величины мощности психофизических шумов на выходе аппаратуры коммутации и физических цепей местных телефонных сетей электросвязи в соответствии с ОСТ 45.36-97 должно быть не более: 100 пВт – для абонентских линий и 500 мВт – для соединительных линий.

Значение величины мощности невзвешенного шума в диапазоне частот 300...3400 Гц для абонентских и соединительных линий местных сетей электросвязи должно быть не более 200 и 1000 пВт соответственно.

Условия электромагнитной совместимости цепей передачи дискретных и аналоговых сигналов в ансамбле цепей обеспечиваются выполнением норм по переходному затуханию между цепями на ближнем конце на частоте 1000 Гц при заданных параметрах сигналов.

Передача дискретных сигналов осуществляется по кабельным воздушным и смешанным линиям ГТС и СТС на межстанционных и абонентских участках, удовлетворяющих требованиям ОСТ 45.36-97.

Основные показатели качества цифровых систем передачи

К основным показателям качества цифровых систем передачи и коммутации относятся *ошибки* и *готовность канала*.

В рамках международных стандартов приняты следующие основные параметры качества ЦСП:

- BER (bit error rate) – коэффициент ошибок по битам;
- ES (errored seconds) – количество секунд, пораженных ошибками;
- SES (severally errored seconds) – количество секунд, несколько раз пораженных ошибками;
- AS (availability seconds) – количество секунд готовности канала;
- NAS (nonavailability seconds) – количество секунд неготовности канала.

Международные нормы на характеристики ошибок приведены в Рекомендациях ИТУ-Т G.821 и G.826. Для отечественных сетей Приказом Министра связи №92 от 10.08.96 введены «Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральных и внутризональных первичных сетей».

5.4. Качество услуг DSL

DSL обеспечивает доступ к сети «по мере возможности» и не поддерживает ни параметров качества услуг (QoS) для трафика Ethernet/IP, ни такие способы распространения информации, как многоадресная рассылка [7, 35].

В техническом отчете TR-059 представлены требования и структура сети для организации DSL-доступа нового поколения. Документ нацелен на то, чтобы соединения DSL могли быть расширены для поддержки высококачественных услуг с учетом передачи по ним трафика IP.

Форум DSL предлагает включение новых функций, к которым относятся:

- переменная скорость;
- динамические механизмы назначения приоритетов;
- специфическая поддержка приложений IP, включая качество услуг IP и широко вещание;
- поддержка новых бизнес-моделей, например, за счет разделения провайдеров доступа и контента;
- распространение параметров услуг на несколько соединений и нескольких провайдеров.

Традиционная архитектура услуг DSL рассчитана в основном на предоставление линии для подключения (соединение на последней миле, абонентская линия) вплоть до модема DSL (удаленного шлюза Remote Gateway, RG). TR-059 предлагает дополнительные формы повышения гибкости (архитектура предусматривает поддержку специфических для пользователя услуг).

Получатель услуги DSL в будущем сможет обращаться к услугам сразу нескольких поставщиков: к примеру, доступ в Интернет ему предложит один из них, видео по требованию – второй, голосовые услуги – третий.

Провайдер может отвечать только за предоставление абонентской линии или за всю услугу доступа вплоть до узла доступа. Он

может быть оператором региональной сети, предоставлять лишь приложения или выступать в качестве провайдера полного комплекта услуг.

Для корпоративных пользователей этот компонент сотрудничества в модели наряду с расширением списка услуг означает упрощенную множественную адресацию и, как следствие, повышенную отказоустойчивость.

Для достижения этой цели TR-059 предусматривает стандартизацию всех интерфейсов, через которые проходит поток данных DSL (см. рис. 5.19). К ним относятся следующие сетевые интерфейсы:

- PNI – между локальным оконечным оборудованием в помещении пользователя и модемом DSL;
- UNI – между модемом DSL и сетью доступа;
- NNI – между сетью доступа и другими сетевыми операторами;
- ANI – между сетью доступа и провайдерами приложений.

Интерфейсы сетевого управления также будут стандартизованы для обеспечения эффективной совместной работы этих подобластей.

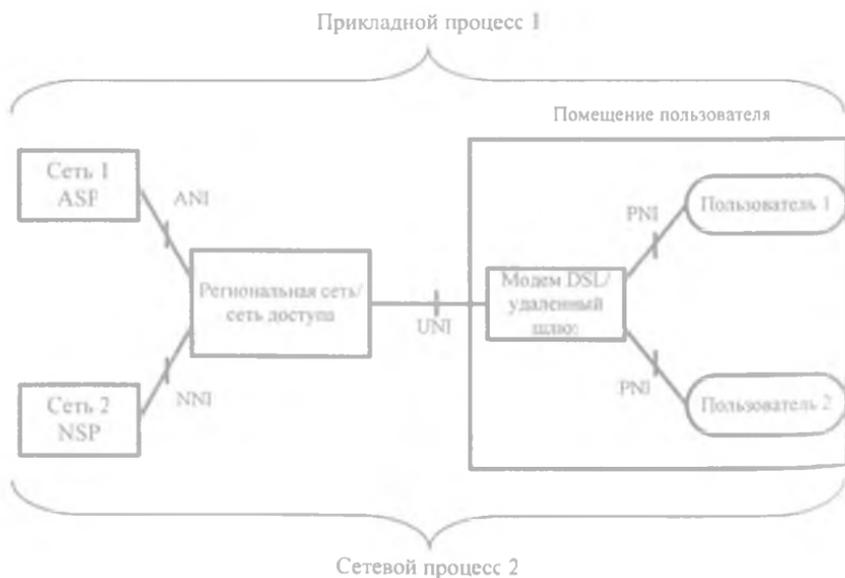


Рис. 5.19. Структура сети для организации DSL-доступа нового поколения

Реализация современных сетей доступа

Большинство сетей DSL появилось до распространения концепции сервера широкополосного удаленного доступа (BRAS). Последний представляет собой краевой маршрутизатор IP для интеллектуального управления широкополосным доступом. Однако сегодня, по данным форума DSL, почти все операторы сетей доступа DSL для ограничения прямого и обратного трафика используют на узлах доступа ATM фиксированные профили скорости. Поэтому для предоставления гибко адаптируемой пропускной способности провайдерам необходимы более тонко настраиваемые механизмы. Кроме того, на фоне растущего спроса на пропускную способность операторы региональных сетей доступа нуждаются в более гибкой масштабируемости. Виртуальные пути (VP) ATM не предлагает столь необходимой дискретности.

TR-059 требует установки дополнительного оборудования на стороне провайдера, чтобы обеспечить поддержку IP региональными сетями и сетями доступа, для чего предлагается несколько вариантов. Те абоненты, кто пользуется непосредственно IP, могут быть объединены в виртуальные локальные (VLAN) и виртуальные частные (VPN) сети на уровне IP. Остальные применяют протокол двухточечного соединения (PPP) либо по ATM (PPPoA) либо по Ethernet (PPPoE). Этот трафик агрегируется на уровне PPP или IP.

Если агрегирование происходит на уровне PPP, то продвижение данных в сеансах PPP должно осуществляться посредством маршрутизируемого протокола, например L2TP. Работающее таким образом устройство агрегирования называется концентратором доступа L2TP (L2TP Access Concentrator, LAC). Альтернативой является использование BRAS-сервер терминирует сеансы PPP и назначает абонентам IP-адреса. Благодаря функции терминирования и агрегирования PPP трафик снова маршрутизируется как исконный трафик IP через виртуальные локальные и виртуальные частные сети. Наряду с ATM транспорт IP могут обеспечить Ethernet и POS.

Дополнительные сетевые элементы на стороне провайдера берут на себя не только агрегирование и коммутацию ATM, но и маршрутизацию IP. Помимо этого, они функционируют в качестве красных маршрутизаторов меток (Label Edge Router, LER) для магистралей MPLS. LER служат конечными точками путей коммутации меток (Label-Switched Path, LSP) в сети MPLS.

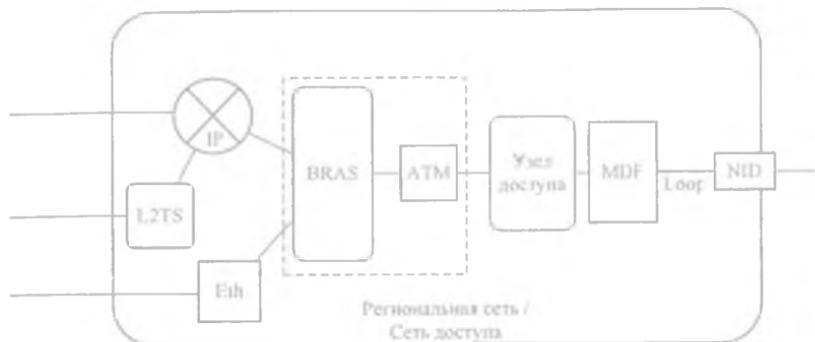


Рис. 5.20. Региональная сеть с поддержкой IP

На рис. 5.20 показан сценарий, когда функции ATM и BRAS объединены в одном многопротокольного краевого устройстве.

Для обеспечения QoS TR-059 предлагает двухступенчатый подход: на первом этапе при помощи управления трафиком (Traffic Engineering, TE) необходимо определить классы сервисов для приоритетной обработки определенных типов трафика. После чего должна быть обеспечена поддержка IP QoS для отдельных потоков данных в региональной сети и сети доступа. Форум DSL разделил введение обеспечения IP QoS для отдельных потоков на две части. Фаза 1 предусматривает управление трафиком посредством статического формирования услуг. Фаза 2 описывает будущее, в котором динамические механизмы в рамках базирующихся на правилах сетей будут обеспечивать произвольное назначение параметров QoS в зависимости от потребности.

Фаза 1

Первая фаза модели основана на существующей архитектуре ATM и предусматривает два расширения: в сети доступа BRAS отвечает за обработку трафика IP, а в помещении абонента также должно быть установлено устройство с поддержкой IP. Цель этого шага – реализация дифференцированных услуг с IP QoS по сети второго уровня, которая сама по себе сетью IP не является. Узлы второго уровня не в состоянии различить классы IP в пределах очереди, поэтому важно предотвращать заторы данных. Функциональность сети второго уровня надо ограничить исключительно транспортом и по возможности не допускать буферизации в узлах.

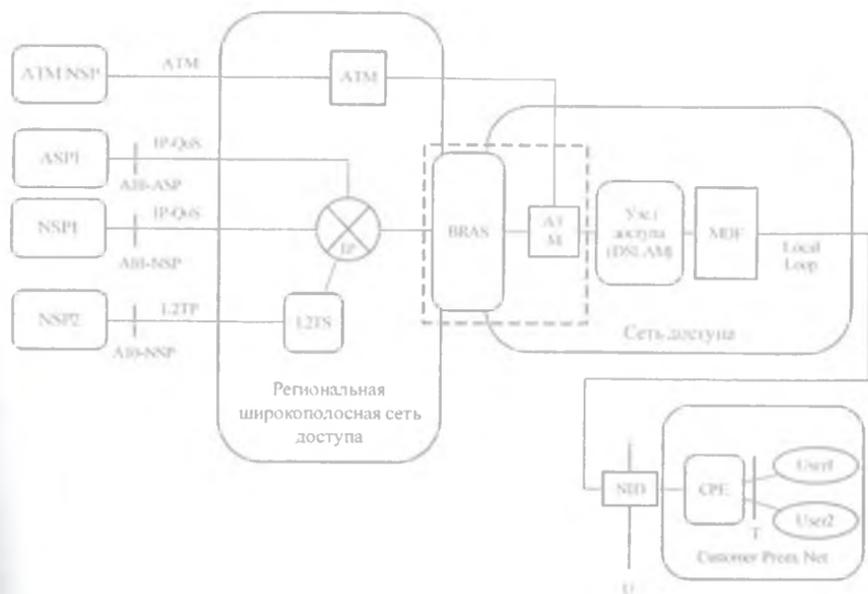


Рис. 5.21. Топология сети с поддержкой QoS

второго уровня. Для этого необходимо, чтобы BRAS был осведомлен о фокусных точках сетевой топологии, в частности о потенциальных точках перегрузки, а также о пропускной способности соединительных линий и проч. Кроме того, BRAS отвечает за то, чтобы в сеть второго уровня поступал тот объем трафика, с которым она в состоянии справиться, что, в свою очередь, требует иерархических механизмов планирования вместе с формированием услуг и правил с учетом ограничений сети (см. рис. 5.21).

В качестве единственных пунктов, где осуществляется управление IP QoS, архитектура предусматривает BRAS и удаленный шлюз подписчика. TR-059 не предполагает сделать промежуточные элементы (DSLAM) устройствами третьего уровня. Выбранный подход нацелен на обеспечение возможности пользоваться многочисленными услугами различных провайдеров, вместо того чтобы зависеть от оператора DSLAM.

Провайдер определяет на BRAS и удаленном шлюзе общие профили трафика. Соответствующая конфигурация выполняется непосредственно на заводе или при помощи инсталляционного программного обеспечения. Удаленный шлюз поддерживает статично назначаемые очереди по мере возможности и приоритетной доставки.

BRAS берет на себя применение правил для трафика в восходящем потоке и ограничение трафика в нисходящем. Профилирование, применение правил и маркировка трафика данных производятся BRAS для сеансов, а не для приложений. Обновление профилей BRAS провайдер осуществляет при формировании услуг, а не посредством сигнализации в трафике. Для обновления профилей удаленного шлюза абонент должен вручную изменить конфигурацию или загрузить новый образ программного обеспечения.

Фаза 2

Во второй фазе вводятся динамические механизмы для воздействия на параметры качества услуг. Этот метод позволяет вносить зависимые от приложений или инициируемые пользователем изменения в параметры QoS. Примером может служить временная акцентация профиля качества услуг для интерактивных игр или видеоконференций с последующим переключением обратно на доступ в Интернет «по мере возможности». Основу такого типа услуг составляет хранилище правил на базе облегченного протокола доступа к каталогу (LDAP). В нем содержатся правила, за преобразование которых отвечают BRAS и удаленный шлюз (см. рис. 5.22).

В хранилище находится информация о профилях подписчика,

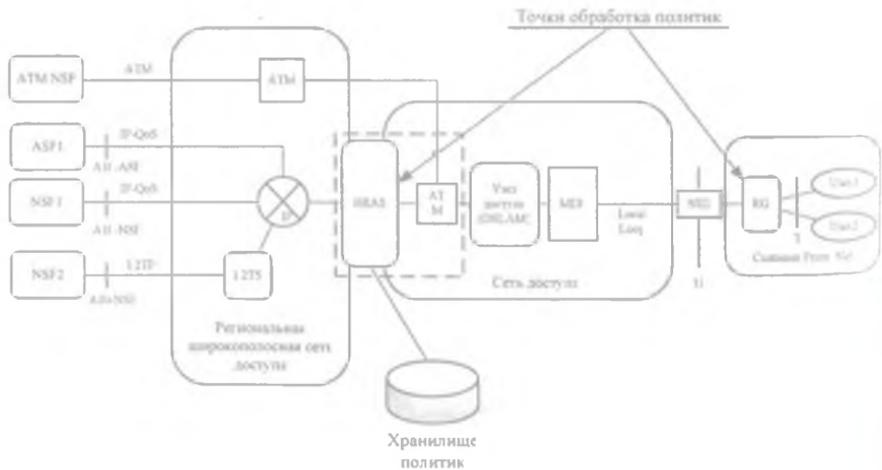


Рис. 5.22. Сценарий будущей динамической поддержки качества услуг с профилями правил

в том числе о скорости синхронизации DSL и о приоритетах пользователя, обращение к которой производится через протокол доступа к каталогу, такой как LDAP. Принимая сеанс доступа, провайдер сетевых услуг предоставляет ассоциированный с этим сеансом индикатор профиля. Получив индикатор, BRAS может запросить и полный профиль из хранилища. Похожим образом передается информация и удаленному шлюзу, если последнему необходим профиль. Распределение профилей между сетевыми элементами выполняется в реальном времени и не требует сброса или перезагрузки.

В описанной модели BRAS и удаленный шлюз должны поддерживать маркировку и ремаркировку дифференцированных услуг. BRAS контролирует соответствующие точки кода и обеспечивает ремаркировку трафика данных, когда он не соответствует профилю абонента. BRAS и удаленный шлюз на второй фазе должны поддерживать формирование очередей DiffServ как для Expedited Forwarding, так и для Assured Forwarding. Кроме того, оба устройства должны быть в состоянии одновременно обрабатывать несколько очередей и предоставлять соответствующие механизмы планирования. Если абонент использует несколько PVC, BRAS обеспечивает отображение между DSCP и PVC.

5.5. Решения для построения сетей доступа на базе xDSL

1. Традиционное оборудование xDSL, изначально разрабатывавшееся для соединений АТС и сетей выделенных линий [1].

В качестве базы при разработке оборудования выбирается протокол с временным разделением каналов. В устройстве, помимо управляющего микропроцессора, имеются преобразователь потоков данных (фреймер), схемы пользовательских интерфейсов и комплект БИС xDSL. Пользовательские интерфейсы включают в себя комбинацию традиционных TDM-интерфейсов – G.704, p.64 (V.35, v.36, X.21), см. рис. 5.23.

Главным недостатком «традиционного» DSL оборудования, разрабатывавшегося несколько лет назад, является его «врожденная несовместимость» с пакетными протоколами (IP и ATM) и негибкость внутренней архитектуры.

2. Изделия, предназначенные для массового Интернет-доступа (DSLAM и CPE), см. рис. 5.24.

В качестве главной технологии на участке последней мили рассматривается ADSL, а на магистральном участке – ATM.



Рис. 5.23. Блок-схема аппаратуры первого поколения xDSL, разрабатывавшейся для соединений АТС и сетей выделенных линий

Такое решение имеет массу достоинств. Оно имеет низкую себестоимость порта xDSL подключения (при высокой плотности абонентов xDSL), просто в установке и обслуживании (при наличии транспортной сети ATM), и, главное, полностью стандартизировано уже несколько лет назад.

Главным недостатком этого решения, в условиях России, являются его нацеленность на очень высокую плотность абонентов xDSL и привязанность к наличию ATM магистралей, отсутствующей у многих операторов России.

3. Современные xDSL решения по доступу в Интернет, построенные на протоколе IP.

Протокол IP, лежащий в основе глобальной Сети, стал широко применяться в последние годы и для построения специализированных, нацеленных на Интернет-доступ, xDSL систем. Схема подключения абонентов в этом случае выглядит много проще и стоимость порта подключения почти не зависит от количества xDSL абонентов в точке присутствия (рис. 5.25).

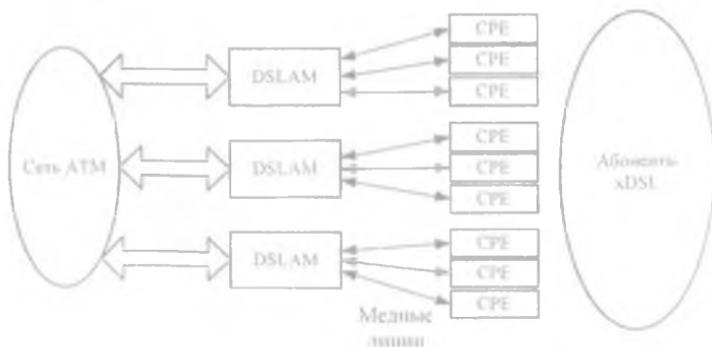


Рис. 5.24. Традиционный для западного рынка метод построения сети доступа в Интернет с помощью ATM DSLAM

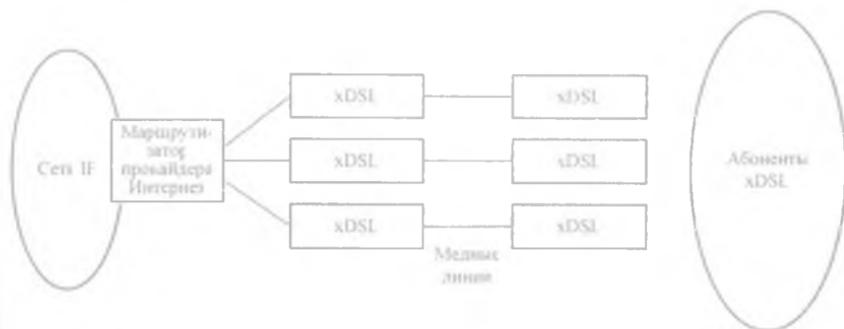


Рис. 5.25. Построение сети доступа в Интернет на основе протоколов IP (без использования ATM)

Большинство систем такого типа, получивших распространение в России, обладают еще одним важным преимуществом – низкими начальными затратами на точку присутствия. Распространение получили мини IP-DSLAM, т.е. устройства с выходом в глобальную сеть (к маршрутизатору) типа Ethernet 10/100BaseT (IP протоколы) и несколькими DSL-портами.

Современное оборудование xDSL, предназначенное для доступа в Интернет, строится по другой схеме, чем оборудование DSL первого поколения. На плату устанавливается высокопроизводительный специализированный процессор, который выполняет сразу несколько функций (рис. 5.26):

- обработка IP-трафика;
- управление всеми блоками xDSL системы;
- реализация функций централизованного управления, конфигурирования, сбора статистики.

Недостатком такого решения принято считать более высокую стоимость порта DSL на стороне станции по сравнению с полностью заполненной кассетой многопортового DSLAM.

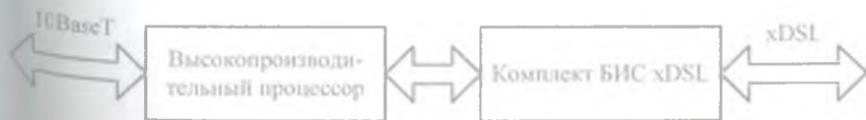


Рис. 5.26. Структура современного оборудования DSL для доступа в Интернет

Однако такое утверждение верно лишь при теоретической ситуации полного использования емкости центрального DSLAM и наличии ATM сети.

4. Построение сети по технологии VoDSL (VoATM).

Данное решение исходит из предпосылки, что вся сеть целиком (или крупная ее часть) будет строиться на основе технологий VoDSL. Типовые приложения для такого решения – построение интегрированной сети базовым оператором с целью предоставления новых услуг 100% абонентов или же, напротив, построение сети доступа альтернативным оператором, опять же в масштабах города или района с планируемым числом подключений в несколько тысяч портов.

Схема сети VoDSL представлена на рис 5.27. Она очень похожа на схему рис 5.25, так как ориентирована на те же технологии – ATM на участке транспортной сети, xDSL (ADSL или SHDSL) на сети абонентского доступа. В дополнение к схеме «чистого» Интернет-доступа в схеме построения VoDSL имеются два важных компонента – голосовой шлюз в телефонную сеть общего пользования на стороне транспортной сети и IAD (интегрированное устройство доступа) на стороне абонента. Голосовой шлюз обеспечивает взаимное прохождение вызовов в (-из) ТфОП в интегрированную сеть VoDSL. IAD обеспечивает разделения потока данных, передаваемого по DSL линии, на «голос», с обычными аналоговыми или ISDN интерфейсами для подключения телефонов/факсов/модемов, и «данных» с интерфейсами типа Ethernet 10/100BaseT.

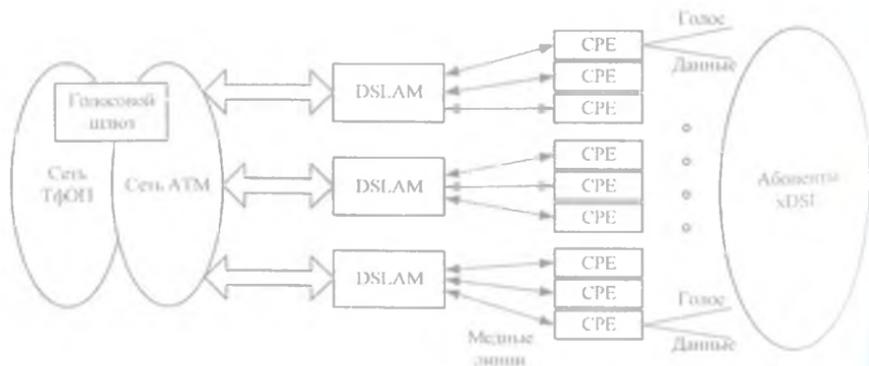


Рис. 5.27. Построение интегрированной сети VoDSL (VoATM)

Достоинством решений VoDSL являются:

- полная стандартизация использующихся протоколов;
- высокое качество передачи речи (поддержка QoS в сети ATM);
- низкая стоимость каждой аналоговой и цифровой линии, достижимая при нескольких тысячах абонентов в сети;
- совместимость с ранее установленным оборудованием DSLAM (возможно использование IAD в качестве окончного оборудования и установка голосового шлюза при сохранении существующего оборудования DSLAM).

В условиях России многие достоинства теряют свою значимость. Во-первых, в большинстве случаев у оператора отсутствуют как инфраструктура ATM, так и существующая сеть ATM DSLAM. Во-вторых, голосовой шлюз является экономически эффективным только при подключении к АТС класса 5 и при большом количестве абонентов (несколько тысяч).

5. Решения, основанные на протоколах IP.

Данное решение допускает более гибкую архитектуру сети, приемлемую как для сетей с большим числом абонентов, так и для сетей с небольшим количеством подключений.

Рассмотрим схему построения сети, изображенную на рис. 5.28. На стороне абонента сеть оканчивается xDSL-устройством с встроенным или подключенным в качестве дополнительного устройства шлюзом VoIP типа FXS. Далее к нему подключаются компьютер (ЛВС) клиента и обычные телефоны/факсы/модемы.

На стороне сети IP-трафик попадает в маршрутизатор Интернет-провайдера и далее через IP сеть в Voice Gateway, который

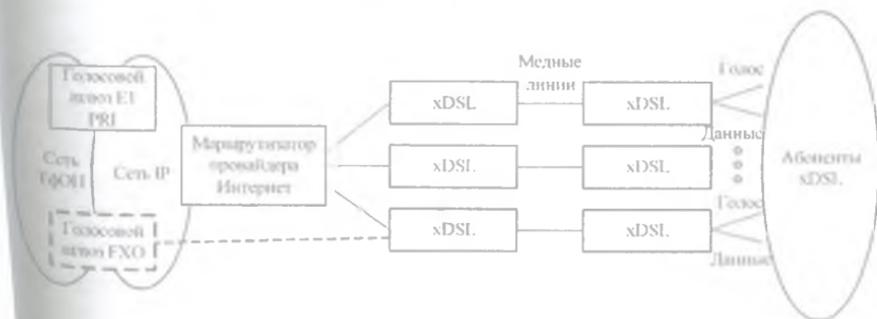


Рис. 5.28. Организация интегрированного сервиса с применением технологий VoIP и xDSL систем, ориентированных на IP протокол аналогично рассмотренному выше случаю с ATM, соединяется с

аналогично рассмотренному выше случаю с АТМ, соединяется с АТС пятого класса, например по протоколу PRI.

Довольно часто применяется и другой, еще более простой, способ подключения к ТФОП через IP сеть (см. пунктирные линии на рис. 5.28). В этом случае на стороне сети xDSL модем, помимо маршрутизатора, подключается к голосовому шлюзу с аналоговыми интерфейсами типа FXO. Интерфейс FXO соединяется с аналоговым портом местной АТС. При таком подключении абонент остается подключенным к тому же порту АТС (в том числе и аналоговой системы) и у него сохраняется телефонный номер. Дополнительно он может пользоваться услугами Интернет и, при соответствующем программировании абонентского VoIP шлюза, услугами альтернативных сетей VoIP.

Вариант подключения к сетям телефонной связи и Интернет с использованием технологий VoIP обладает следующими преимуществами:

- используется существующая инфраструктура Интернет;
- установка VoIP Gateway у абонента и на стыке с ТФОП возможна уже после завершения строительства сети доступа к Интернет;
- полностью модульная архитектура сети, отсутствие необходимости больших начальных инвестиций;
- возможность подключения к аналоговым или цифровым АТС по аналоговому стыку FXO для организации локального интегрированного доступа с сохранением у абонента существующих телефонных номеров;
- возможность подключений абонентов к альтернативным VoIP сетям, например, для междугородных/международных вызовов.

Главным недостатком технологий VoIP принято считать более низкое качество передачи речи в сравнении с передачей по сетям с временным разделением каналов или передачей через сеть АТМ. Это положение было верным до последнего времени, пока протоколы VoIP не были стандартизированы и не было введено QoS в IP сетях.

6. Технологии для интегрированной передачи речи и данных с использованием протоколов TDM.

Для приложений, где качество передачи речи остается решающим фактором были разработаны решения, основанные не традиционных протоколах временного разделения каналов (TDM).



Рис. 5.29. Структурная схема современных систем xDSL, в том числе предназначенных для интегрированной передачи речи и данных (пунктирные линии)

Рассмотренные выше архитектура систем xDSL первого поколения не приспособлена к организации интегрированной передачи речи и данных. Главные препятствия на этом пути – специализированный xDSL фреймер (ASIC) и низкопроизводительный процессор с ограниченным объемом оперативной памяти. Современные гибкие системы xDSL строятся поэтому по несколько отличному принципу (см рис. 5.29).

Современные системы xDSL построены на компонентах высокой степени интеграции. Благодаря этому достигается высокая надежность и относительно низкая себестоимость (в сравнении с системами первого поколения). Главным отличием во внутренней архитектуре является использование ПЛИС – программируемых логических интегральных схем (FPGA). Они применяются всеми ведущими производителями и дают возможность реализации любого алгоритма преобразования потоков данных между каналом xDSL и блоками пользовательских интерфейсов. Главным преимуществом и отличием FPGA является возможность программного изменения заложенных в них функций преобразования потоков. Следовательно, реализация той или иной специфической системы сигнализации или протоколов управления становится чисто программной задачей, не затрагивающей аппаратную реализацию xDSL оборудования.

Блок IAD имеет в своей структуре все основные компоненты современной xDSL системы передачи, однако, дополнен схемами

для обработки голосовых сигналов. Поскольку главным требованием клиентов, применяющих IAD с временным разделением каналов, является качество передачи голоса, которое должно быть таким же, как в традиционных сетях связи, применяется наиболее качественный метод кодирования речи – ИКМ 64 Кбит/с.

Главными достоинствами IAD считаются его нацеленность на имеющуюся сетевую инфраструктуру и полная совместимость с протоколами существующей телефонной сети. IAD может подключаться к любой существующей АТС и к любому существующему оборудованию маршрутизации или выделенных цифровых линий (см. рис. 5.30). Являясь гибким и высокоинтеллектуальным устройством, IAD может обрабатывать сигнализации, используемые цифровыми АТС и УАТС, например CAS. В этом случае на стороне станции устанавливается обычный xDSL модем (на схеме – сдвоенный) для распределения цифрового потока Е1 на два направления. При подключении к аналоговой АТС на стороне станции применяется не обычный модем, а IAD, который снабжается интерфейсами FXO. На стороне абонента IAD имеет интерфейсы типа FXS. В определенном смысле IAD с временным разделением каналов можно рассматривать как вынос телефонной станции с организацией параллельной передачи данных от ближайшего узла сети ПД.

Главным недостатком IAD с временным разделением каналов является меньшая пропускная способность канала, отводящегося

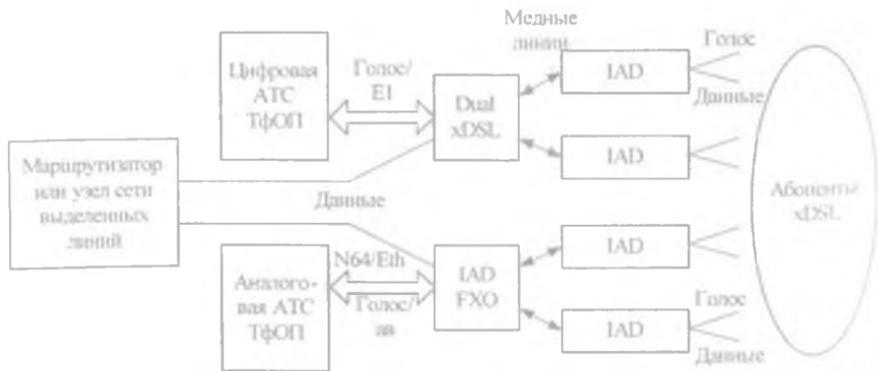


Рис. 5.30. Организация интегрированных услуг по передаче речи (подключение к ТфОП) и данных (подключение к Интернет) с помощью систем передачи xDSL нового поколения с функциями IAD

под передачу данных, в сравнении с протоколами VoIP или VoATM (при одинаковой линейной скорости).

5.6. Оборудование xDSL

Сеть доступа состоит из DSL-модемов и системы мультиплексоров доступа в центральном узле, а также DSL-модемов в помещении потребителя, соединенных абонентской линией (АЛ) (рис. 5.31) [15, 23].

Узел доступа выполняет следующие функции: окончание абонентских линий DSL (ATU-C модули узла доступа); концентрация/мультиплексирование абонентских линий DSL в региональную широкополосную сеть.

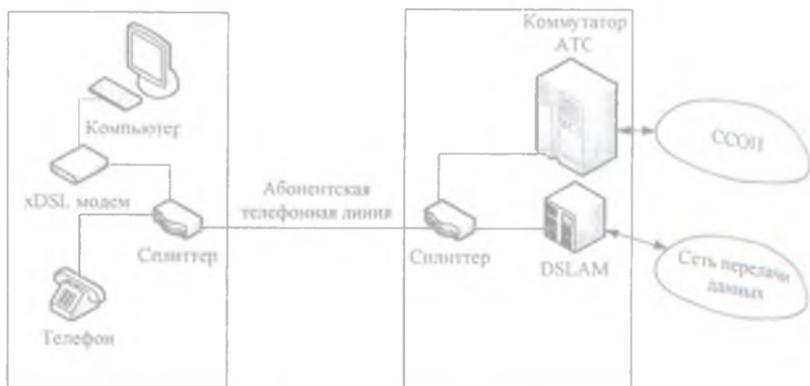


Рис. 5.31. Оборудование xDSL

Мультиплексор доступа цифровых абонентских линий (DSLAM)

Мультиплексор доступа цифровой абонентской линии объединяет трафик большого количества абонентских телефонных линий. С мультиплексора доступа данные в виде пакетов передаются в сеть Интернет и поступают по назначению.

Модем/маршрутизатор DSL

Абонентское оборудование DSL можно разбить на две основные категории: мосты и маршрутизаторы. Мост – это устройство с

низким уровнем интеллекта, имеющее входной порт Ethernet и выходной порт DSL, поэтому мосты могут представлять интерес только при подключении сетей, где уже есть средства маршрутизации и защиты трафика.

Маршрутизаторы DSL – это обычные сетевые маршрутизаторы с дополнительными платами DSL. Они, впрочем, могут обладать рядом специфических возможностей, от которых зависит их стоимость и степень пригодности для нужд конкретного пользователя. К числу таких возможностей относятся: наличие достаточного числа портов Ethernet; гибкое управление IP-адресами с помощью преобразования сетевых адресов (Network Address Translation, NAT) и сервиса DHCP; функциональность межсетевых экранов; поддержка VPN; дополнительные функции, такие, как голос поверх DSL (Voice over DSL, VoDSL) и использование телефонных каналов в качестве резервных.

Сплиттер

Сплиттер представляет собой фильтр, выделяющий сигналы обычной телефонной связи и направляющий их на коммутационное оборудование телефонной станции. Высокочастотные цифровые сигналы направляются на мультиплексор доступа.

Оборудование управления и контроля

Оборудование управления и контроля абонентской линии может находиться как до сплиттера, так и после него. Оно обеспечивает защиту коммутационного оборудования, физический доступ, тестирование телефонного оборудования и тестирование широкополосного цифрового оборудования, что необходимо для организации данной системы, ее обслуживания, поиска и устранения неисправностей.

Интегрированное устройство доступа IAD

На абонентской стороне линии, идущие от телефонных аппаратов и, например, компьютеров, подключаются к устройству интегрированного доступа, позволяющего преобразовать аналоговый сигнал телефонной связи в цифровую форму, объединить его с данными, поступающими от компьютеров, и все это передать в виде цифрового высокочастотного сигнала на телефонную станцию.

Примеры оборудования различных производителей

ЗЕЛАКС DSL M-1Д

SHDSL-модем для физических линий:

- скорость передачи данных 3072/6144 кбит/с;
- автоматическая коррекция Cross Link;
- для четырёхпроводного режима;
- обеспечивает динамическое распределение полосы пропускания канала SHDSL между цифровыми интерфейсами и телефонными каналами;
- имеет средства поддержки VLAN;
- позволяет ограничивать эффективную скорость передачи данных различных VLAN через порт Ethernet;
- обеспечивает качество обслуживания (QoS);
- позволяет использовать асинхронный порт для передачи данных;
- совместим с оборудованием, выполненным в соответствии с рекомендациями ITU-T G.991.2, G.994.1;
- имеет встроенные функции самодиагностики и тестирования;
- допускает управление с удаленного устройства через порт RS-232 [19].

ZyXEL Prestige 782R EE

SHDSL-модем с интерфейсом Ethernet:

- возможность удаленного высокоскоростного коллективного подключения к Интернету или корпоративной сети;
- работает на расстоянии до 9 км при сопротивлении шлейфа до 2 кОм и более;
- позволяет сочетать в одном многопарном кабеле несколько технологий передачи данных;
- возможность ручной или автоматической подстройки скорости и параметров соединения под параметры линии;
- поддержка протокола DHCP;
- поддержка широковещательных протоколов (IP multicast);
- поддержка нескольких сетевых адресов на одном Ethernet-интерфейсе (IP-aliasing);
- возможности локального и дистанционного управления по протоколу SNMP;
- полное соответствие стандарту G.shdsl.

Контрольные вопросы

1. Какие технологии xDSL относятся к симметричным?
2. Какая из технологий xDSL требует для работы две витые пары?
3. Какие технологии xDSL могут работать по одной витой паре?
4. В чем заключается «асимметрия» в технологии ADSL?
5. Какие технологии xDSL относятся к технологиям асимметричного доступа?
6. Как называется цифровая абонентская линия с адаптацией скорости передачи?
7. Для чего предназначен сплиттер в технологиях xDSL?
8. Какая из технологий xDSL не требует установки сплиттера?
9. Поясните преобразование в алгоритме 2B1Q.
10. В каких технологиях xDSL применяется алгоритм модуляции 2B1Q?
11. В каких технологиях xDSL применяется алгоритм QAM?
12. При какой модуляции используется передача одной боковой полосы с подавлением несущей?
13. В каком алгоритме модуляции применяется разделение используемой полосы частот на несколько участков?
14. В чем основное отличие алгоритма OFDM от DMT?
15. Какая технология является наиболее приспособленной для массового доступа в Интернет?
16. Как обозначается технология передачи речи поверх цифровой абонентской линии?
17. Какова скорость передачи данных в нисходящем потоке технологии ADSL?
18. Выберите технологию xDSL, если расчетная скорость передачи в восходящем направлении равна 1500 кбит/с, а в нисходящем направлении – 1200 кбит/с. Используется только одна витая пара.

Список литературы

1. **Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г.** Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 288 с.
2. **Соколов Н.А.** Сети абонентского доступа. Принципы построения. – Пермь: ЗАО «ИГ «Энтер-профи»», 1999. – 256 с.
3. **Руководящий технический материал по модернизации сетей доступа.** – Санкт-Петербург. НТЦ Протей, Редакция 2.0.
4. **Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А.** Сети и системы радиодоступа. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с.
5. **Кайзер Л.И., Костерова Л.Н.** Анализ электромагнитной совместимости цепей кабельных линий сетей абонентского доступа // Электросвязь. – 2004. – №11. – С. 13–15.
6. **Котиков И.М.** Технологии проводного абонентского доступа для мультисервисных сетей связи // Технологии и средства связи. – 2003. – №3. – С. 48–55.
7. **Грайнер В.** ADSL для самых требовательных // Журнал сетевых решений/LAN. – 2004. – №6. – С. 62–66.
8. **Силаков Н.** www.citforum.ru/nets/articles/tech_first_plan/
9. **Портной С.Л.** Перспективы развития беспроводного широкополосного доступа // Вестник связи. – 2004. – №9.
10. **Константинов Е.** Реалии широкополосного доступа, или о том, чем Россия пока не избалована // Вестник связи. – 2004. – №6. – С. 44–51.
11. **Кочеров А.** Ограничение скоростного потенциала асимметричной цифровой абонентской линии электрическими характеристиками медных кабелей // Электросвязь. – 2004. – №11. – С. 18–21.
12. **Башилов Г.В.** Широкополосный доступ по медной паре // Вестник связи. – 2004. – №6. – С. 52–56.
13. **Ефремов А.** WiFi – теперь мы идем к Вам. www.wireless.ru/wireless/1177/
14. **Перспективы и пути развития широкополосных сетей абонентского доступа.** <http://www.xdsl.ru/second.htm>
15. **Эссекс Д.** Абонентское оборудование DSL приступает к делу // LAN. – 2001. – №5. – С. 47–54.
16. **Краткий анализ технологий «последней мили».** www.xdsl.ru/articles/kran.htm
17. **Общее описание технологии ADSL.** www.xdsl.ru/articles/adsl.htm
18. **Общие аспекты технологий xDSL.** www.xdsl.ru/articles/aspekt.htm
19. **Оборудование xDSL от производителей** <http://www.xdsl.ru/brand/>
20. **Крупный масштаб.** www.setevoi.ru/IT/3`2002.html

21. **Современные технологии доступа в сеть Интернет.**
www.xdsl.ru/articles/innet.htm
22. **Судьба медной абонентской линии в цифровом мире: переход от аналоговой к цифровой абонентской кабельной сети.**
www.xdsl.ru/articles/sudba.htm
23. **Технологии xDSL.** www.xdsl.ru/articles/dsl.htm
24. **Ерохин В. WiFi – на службе оператора.**
www.seti.com.ua/?in=seti_show_article&seti_art_ID=74&SearchString=WiFi&by_id=3
25. **Телекоммуникационные решения – взгляд изнутри.**
www.seti.com.ua/?in=seti_show_article&seti_art_ID=93&SearchString=DSL&by_id=3
26. **Семенов А. WiMAX-связь с (почти) неограниченными возможностями.** www.bytemag.ru/Article.asp?ID=2751
27. **Специфика построения WLL систем.** www.alvarion.ru/Wll.htm
28. **Принципы функционирования физической среды передачи данных.** www.military.miem.edu.ru/edufree/books/msu_lec/datatr.php.htm
29. **Беспроводные сети.** www.skif.bas-net.by/bsuir/base/node280.html
30. **Среды передачи.** www.skif.bas-net.by/bsuir/base/node273.html
31. **Использование частотного ресурса в России.**
www.alvarion.ru/Wll.htm
32. **Аппаратура и сети доступа.**
www.center.neic.nsk.su/page_rus/htm/UCH_MAT/course4/index.htm
33. **Гольдштейн Б.С., Орлов О.П., Ошев А.Т., Соколов Н.А.** Модернизация сетей доступа в эпоху NGN // Вестник связи. – 2003. – №6.
34. **DSL Sourcebook.** www.Paradyne.com.
35. **Technical Report DSL Forum TR-059.** www.dslforum.org
36. **Филимонов А.** Алгоритмы модуляции технологий xDSL.
www.protocols.ru
37. **Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России, 2001.**
38. **Introduction to Wireless LAN and IEEE 802.11.**
www.wirelessnetworkstutorial.info/ieee802.11/introduction_wifi.php
39. **802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide.**
www.oreilly.com/catalog/802dot11/chapter/ch15.html
40. **WiFi.** www.wi-fi.org/OpenSection/design.asp?TID=2
41. **Understanding WiMAX and 3G for Portable/Mobile Broadband Wireless.** www.intel.com

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Современное состояние сетей доступа	4
1.1. Принципы построения сетей доступа	4
1.2. Основные характеристики сетей доступа	6
1.3. Проблемы, характерные для сетей доступа	9
Глава 2. Модернизация сетей доступа	10
2.1. Общие положения	10
2.2. Услуги сети доступа в NGN	11
2.3. Экономические аспекты модернизации сети доступа	12
2.4. Используемые технологии	14
2.5. Сценарии построения современных сетей доступа	15
2.5.1. Структура транспортной сети доступа	17
2.5.2. Построение коммутируемых сетей доступа	19
Глава 3. Сети доступа на базе проводных средств	21
3.1. Общие сведения	21
3.2. Классификация технологий проводного доступа	21
3.2.1. Доступ к традиционным сетям связи	23
3.2.2. Технологии xDSL	23
3.2.3. Технологии оптического доступа	24
3.2.4. Технологии коллективного доступа	25
3.2.5. Технологии КТВ	27
3.2.6. Технологии LAN	29
Глава 4. Сети доступа на базе радиотехнических средств	32
4.1. Принципы использования радиотехнологий	32
4.2. Использование частотного спектра	39
4.3. Технология WiMAX	41
Глава 5. Технологии XDSL	46
5.1. Обзор и классификация технологий xDSL	46
5.1.1. Симметричные технологии xDSL	46
5.1.2. Асимметричные технологии xDSL	48
5.2. Алгоритмы модуляции, применяемые в технологиях xDSL	52
5.2.1. Алгоритм модуляции 2B1Q	52
5.2.2. Алгоритм модуляции QAM	55
5.2.3. Алгоритм модуляции CAP	60