

## Технологии двухточечных каналов

В тех случаях, когда IP-маршрутизаторы непосредственно соединены линиями связи физического уровня (кабелями или каналами таких технологий первичных сетей, как PDH, SDH или OTN), функции протокола канального уровня сокращаются по сравнению со случаем, когда на канальном уровне имеется сеть с коммутацией пакетов, например Ethernet или MPLS. Для подобных случаев разработаны специальные протоколы канального уровня с упрощенной функциональностью, которые принято называть двухточечными или протоколами «точка-точка», что отражает топологию связей между маршрутизаторами.

### Протокол HDLC

**Протокол HDLC** (High-level Data Link Control — высокоуровневое управление линией связи) представляет целое семейство протоколов, реализующих функции канального уровня.

Важным свойством HDLC является его *функциональное разнообразие*. Он может работать в нескольких весьма отличающихся друг от друга режимах, поддерживает не только двухточечные соединения, но и соединения с одним источником и несколькими приемниками и, кроме того, предусматривает различные функциональные роли взаимодействующих станций. Сложность HDLC объясняется тем, что это очень «старый» протокол, разработанный еще в 70-е годы для ненадежных каналов связи. Поэтому в одном из режимов протокол HDLC, подобно протоколу TCP, поддерживает процедуру установления логического соединения и процедуры контроля передачи кадров, а также восстанавливает утерянные или поврежденные кадры. Существует и дейтаграммный режим работы HDLC, в котором логическое соединение не устанавливается и кадры не восстанавливаются.

В IP-маршрутизаторах чаще всего используется версия протокола HDLC, разработанная компанией Cisco. Хотя эта версия является фирменным протоколом, де-факто она стала стандартом для IP-маршрутизаторов большинства производителей. Версия Cisco HDLC работает только в дейтаграммном режиме, что соответствует современной ситуации с незашумленными надежными каналами связи. По сравнению со стандартным протоколом версия Cisco HDLC включает ряд расширений, главное из которых — многопротокольная поддержка. Это означает, что в заголовок кадра Cisco HDLC добавлено поле типа протокола, подобное полю EtherType в кадре Ethernet и содержащее код протокола, данные которого переносит кадр Cisco HDLC. В стандартной версии HDLC такое поле отсутствует.

## Протокол PPP

**Протокол PPP** (Point-to-Point Protocol — протокол двухточечной связи) является стандартным протоколом Интернета. Протокол PPP, как и HDLC, представляет собой целое семейство протоколов, в которое, в частности, входят:

- протокол управления линией связи (Link Control Protocol, LCP);
- протокол управления сетью (Network Control Protocol, NCP);
- многоканальный протокол PPP (Multi Link PPP, MLPPP);
- протокол аутентификации по паролю (Password Authentication Protocol, PAP);
- протокол аутентификации по квитированию вызова (Challenge Handshake Authentication Protocol, CHAP).

Особенностью протокола PPP, отличающей его от других протоколов канального уровня, является *сложная переговорная процедура* принятия параметров соединения. Стороны обмениваются различными параметрами: качество линии, размер кадров, тип протокола аутентификации и тип инкапсулируемых протоколов сетевого уровня.

В корпоративной сети конечные системы часто отличаются размерами буферов для временного хранения пакетов, ограничениями на размер пакета, списком поддерживаемых протоколов сетевого уровня. Физическая линия, связывающая конечные устройства, может варьироваться от низкоскоростной аналоговой до высокоскоростной цифровой линии с различными уровнями качества обслуживания. Протокол, в соответствии с которым принимаются параметры соединения, называется *протоколом управления линией связи* (LCP). Чтобы справиться со всеми возможными ситуациями, в протоколе PPP имеется набор стандартных параметров, действующих по умолчанию и учитывающих все стандартные конфигурации. При установлении соединения два взаимодействующих устройства для нахождения взаимопонимания пытаются сначала использовать эти параметры. Каждый конечный узел описывает свои возможности и требования. Затем на основании этой информации принимаются параметры соединения, устраивающие обе стороны. Но переговорная процедура протоколов может и не завершиться соглашением о каком-нибудь параметре. Если, например, один узел предлагает в качестве MTU значение 1000 байт, а другой отвергает это предложение и, в свою очередь, предлагает значение 1500 байт, которое отвергается первым узлом, то по истечении тайм-аута переговорная процедура может закончиться безрезультатно.

Одним из важных параметров соединения PPP является *режим аутентификации*. Для целей аутентификации PPP предлагает по умолчанию *протокол аутентификации по паролю* (PAP), передающий пароль по линии связи в открытом виде, или *протокол аутентификации по квитированию вызова*<sup>1</sup> (CHAP), не передающий пароль по линии связи и поэтому обеспечивающий более высокий уровень безопасности сети.

---

<sup>1</sup> См. раздел «Строгая аутентификация в протоколе CHAP» главы 27.

Пользователям также разрешается добавлять новые алгоритмы аутентификации. Кроме того, пользователи могут влиять на выбор алгоритмов сжатия заголовка и данных.

*Многопротокольная поддержка* — способность протокола PPP поддерживать несколько протоколов сетевого уровня — обусловила распространение PPP как стандарта де-факто. Внутри одного соединения PPP могут передаваться потоки данных различных сетевых протоколов, включая IP, Novell IPX и многих других, сегодня уже не употребляющихся, а также данные протоколов канального уровня локальной сети. Каждый протокол сетевого уровня конфигурируется отдельно с помощью соответствующего *протокола управления сетью* (NCP). Под конфигурированием понимается, во-первых, констатация того факта, что данный протокол будет использоваться в текущем сеансе PPP, а во-вторых, переговорное согласование некоторых параметров протокола. Больше всего параметров устанавливается для протокола IP, включая IP-адреса взаимодействующих узлов, IP-адреса DNS-серверов, признак компрессии заголовка IP-пакета и т. д. Для каждого протокола, предназначенного для конфигурирования протокола верхнего уровня, помимо общего названия NCP, употребляется особое название, построенное путем добавления аббревиатуры CP (Control Protocol — протокол управления) к имени конфигурируемого протокола. Например, для IP — это протокол IPCP, для IPX — IPXCP и т. п.

Под *расширяемостью* протокола PPP понимается как возможность включения новых протоколов в стек PPP, так и возможность применения собственных протоколов пользователей вместо рекомендуемых в PPP по умолчанию. Это позволяет наилучшим образом настроить PPP для каждой конкретной ситуации. Одним из привлекательных свойств протокола PPP является способность использования нескольких физических линий связи для образования одного логического канала, то есть агрегирование каналов. Эту возможность реализует *многоканальный протокол PPP* (MLPPP).

## Технологии доступа

### Проблема последней мили

Организация удаленного доступа является одной из наиболее острых проблем компьютерных сетей. Она получила название *проблемы последней мили*, где под последней милей подразумевается расстояние от точки присутствия (POP) оператора связи до помещений клиентов. Сложность этой проблемы определяется несколькими факторами. С одной стороны, современным пользователям необходим высокоскоростной доступ, обеспечивающий качественную передачу трафика любого типа, в том числе данных, голоса, видео. Для этого нужны скорости в несколько мегабит в секунду, а для качественного приема телевизионных программ — в несколько десятков мегабит в секунду. С другой стороны, значительное число домов в больших и малых городах и особенно в сельской местности по-прежнему соединены с POP абонентскими окончаниями телефонной сети, которые не были рассчитаны на передачу компьютерного трафика.

Кардинальная перестройка кабельной инфраструктуры доступа требует времени — слишком масштабна эта задача из-за огромного количества зданий и домов, географически рассеянных по огромной территории. Процесс прокладки к жилым домам оптического кабеля начался уже давно, но он затронул пока только большие города и крупные здания с множеством потенциальных пользователей.

Долгое время наиболее распространенной технологией доступа был коммутируемый доступ, когда пользователь устанавливал коммутируемое соединение с корпоративной сетью или Интернетом через телефонную сеть с помощью модема, работающего в голосовой полосе частот. Такой способ обладает очевидным и существенным недостатком — скорость доступа ограничена несколькими десятками килобит в секунду из-за фиксированной узкой полосы пропускания примерно в 3,4 кГц, выделяемой каждому абоненту телефонной сети (вспомните технику мультиплексирования FDM, применяемую в телефонных сетях и описанную в главе 8). Такие скорости сегодня устраивают все меньше и меньше пользователей.

Сегодня существует ряд технологий, способных предоставлять услуги *скоростного удаленного доступа* на основе существующей инфраструктуры абонентских окончаний — телефонных сетей или сетей кабельного телевидения. Эти технологии, обеспечивающие скорость от нескольких сотен килобит в секунду до нескольких десятков мегабит в секунду, используют следующий прием: после достижения POP компьютерные данные уже не следуют по телефонной сети или сети кабельного телевидения, а ответвляются с помощью специального оборудования в сеть передачи данных. Это позволяет преодолеть ограничения на полосу пропускания, отводимую абоненту в телефонной сети или сети кабельного телевидения, и повысить скорость доступа. Наиболее популярной технологией такого типа является технология **ADSL**, использующая телефонные абонентские окончания и кабельные модемы, работающие поверх сети кабельного телевидения.

Применяются также различные беспроводные технологии доступа, обеспечивающие как фиксированный, так и мобильный доступ. Набор таких беспроводных технологий очень широк — в него входят и беспроводные сети Ethernet (802.11), различные фирменные технологии, передача данных по сети мобильной телефонии, а также технологии фиксированного доступа, например стандарта 802.16. В этой главе мы рассмотрим технологии фиксированного доступа, а мобильный беспроводной доступ изучается в главе 23.

Рисунок 19.6 иллюстрирует разнообразный и пестрый мир удаленного доступа. Мы видим здесь клиентов различных типов, отличающихся используемым оборудованием и требованиями к параметрам доступа. Кроме того, помещения клиентов могут быть соединены с ближайшей точкой доступа оператора связи (то есть с ближайшим центральным офисом, если пользоваться терминологией операторов телефонной сети) различными способами: с помощью аналогового или цифрового окончания телефонной сети, телевизионного кабеля, беспроводной связи. Наконец, сам оператор связи может иметь различную специализацию, то есть быть поставщиком телефонных услуг, либо поставщиком услуг Интернета, либо оператором кабельного телевидения,

либо универсальным оператором, предоставляющим весь спектр услуг и обладающим собственными сетями всех типов.

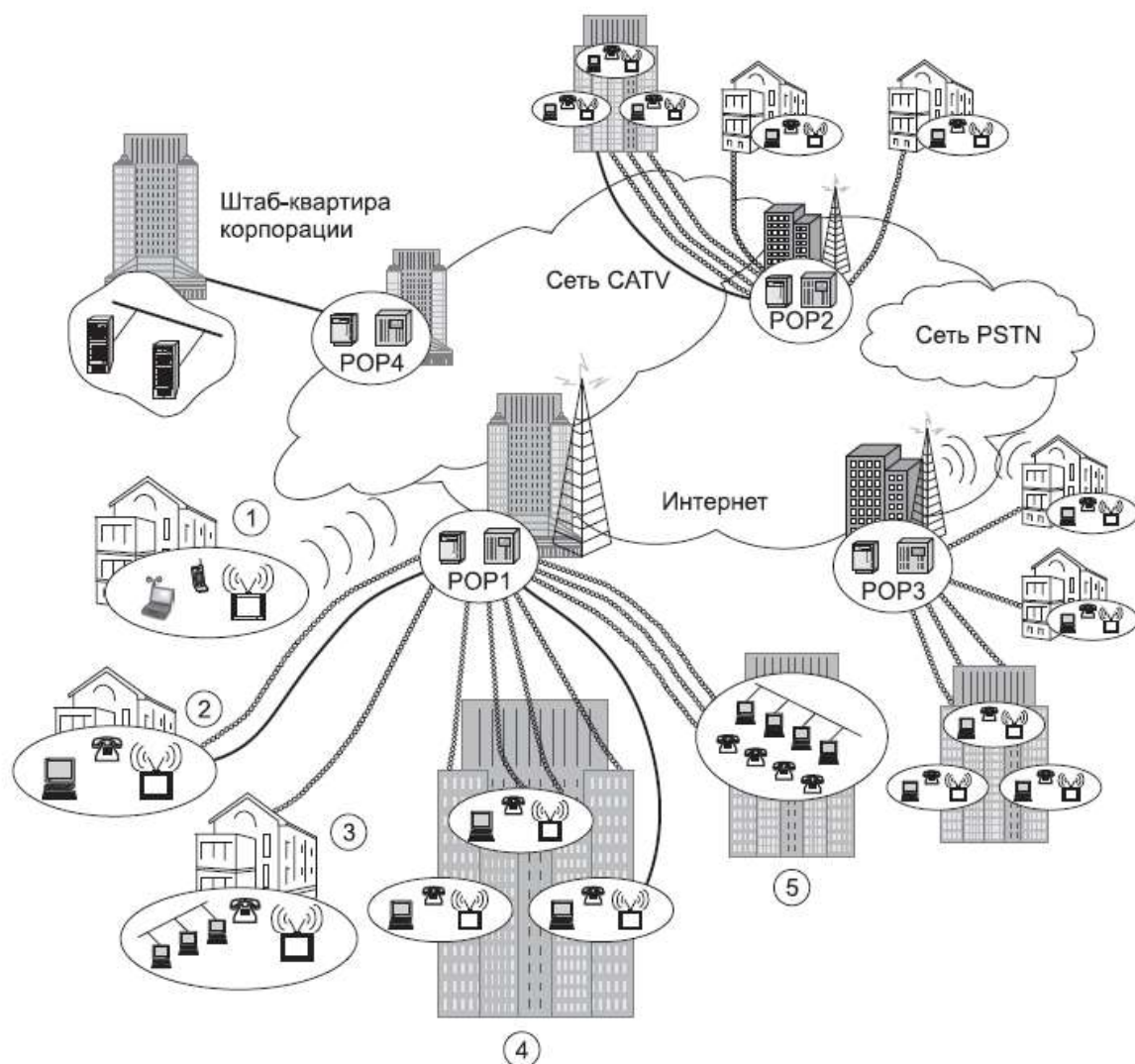


Рис. 19.6. Клиенты удаленного доступа

## Коммутируемый аналоговый доступ

Основная идея коммутируемого доступа состоит в том, чтобы использовать имеющуюся телефонную сеть для организации коммутируемого соединения между компьютером домашнего пользователя и **сервером удаленного доступа** (Remote Access Server, **RAS**), установленным на границе телефонной и компьютерной сетей. Компьютер пользователя подключается к телефонной сети с помощью **коммутируемого модема**, поддерживающего стандартные процедуры набора номера и имитирующего работу телефонного аппарата для установления соединения с RAS. Схема организации доступа через аналоговую телефонную сеть показана на рис. 19.7.

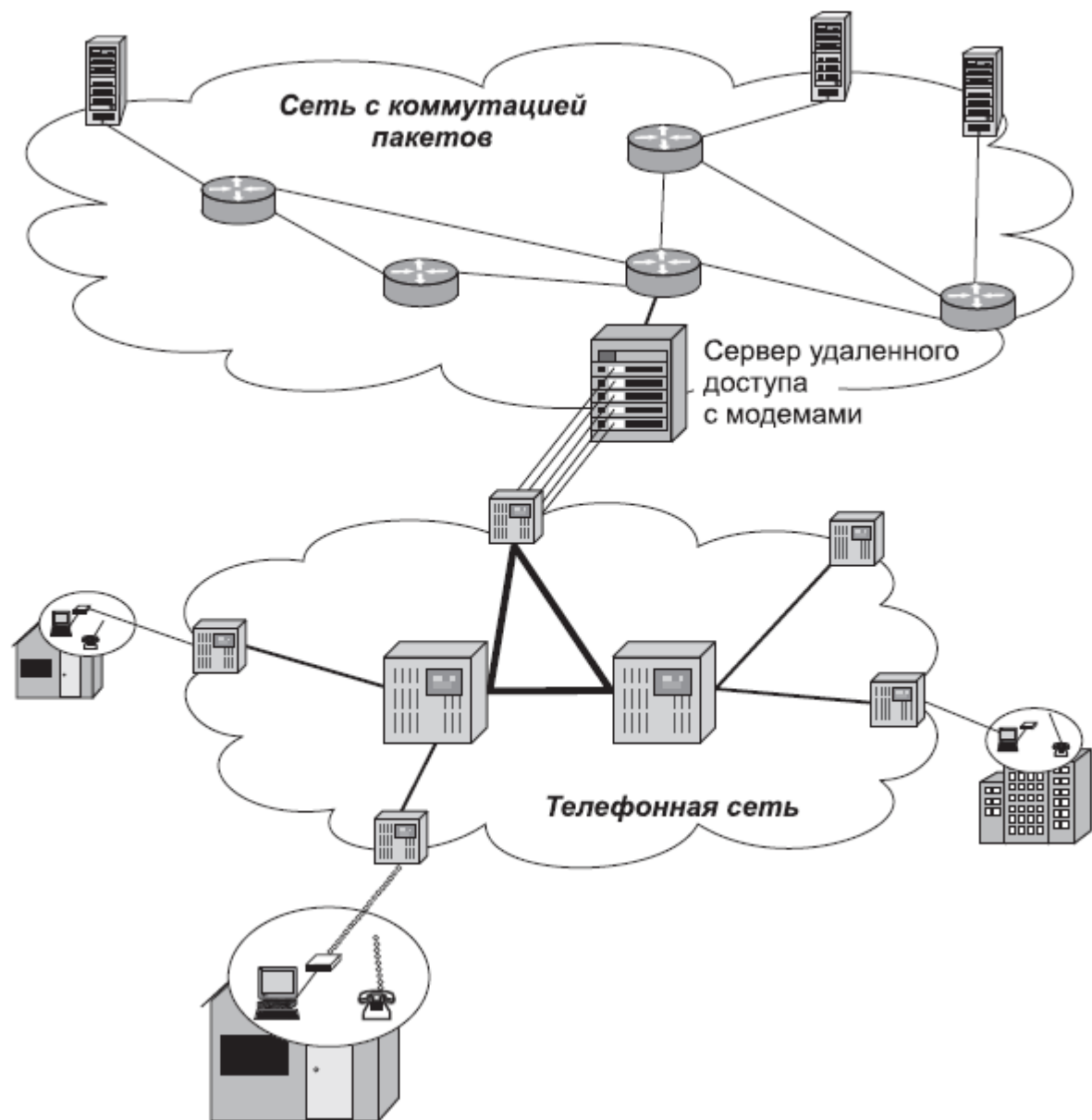


Рис. 19.7. Доступ через телефонную сеть с аналоговыми окончаниями

Сервер RAS имеет два типа соединений: с телефонной сетью через пул модемов и с локальной IP-сетью, соединенной с Интернетом. Для телефонной сети и RAS, и модемы клиентов являются обычными пользователями. Коммутаторы телефонной сети сегодня чаще всего цифровые (хотя кое-где остались еще и аналоговые). Однако несмотря на преимущественно цифровой характер телефонной сети, для использования ее в качестве сети доступа важен тот факт, что ее абонентское окончание является *аналоговым*, и между абонентами сети организуется *аналоговый канал с полосой пропускания 4 кГц*.

Для получения доступа в Интернет или корпоративную сеть через телефонную сеть модем пользователя должен выполнить вызов по одному из номеров, присвоенному

модемам, находящимся на сервере удаленного доступа. После установления соединения между модемами в телефонной сети образуется канал с полосой пропускания около 4 кГц. Точное значение ширины имеющейся в распоряжении модемов полосы зависит от типа телефонных коммутаторов на пути от модема пользователя до модема RAS и от поддерживаемых ими сигнальных протоколов. В любом случае эта полоса не превышает 4 кГц, что принципиально ограничивает скорость передачи данных модемом. После установления модемного соединения с RAS телефонная линия становится недоступной для телефона пользователя, так как модем занимает своим сигналом всю доступную полосу пропускания линии.

Наивысшим достижением современных модемов на канале тональной частоты является скорость в 33,6 Кбит/с, если на пути следования информации приходится выполнять *аналого-цифровое преобразование*, и 56 Кбит/с, если преобразование *цифро-аналоговое*. Такая асимметрия связана с тем, что аналого-цифровое преобразование вносит существенно более значительные искажения в передаваемые дискретные данные, чем цифро-аналоговое. Очевидно, что такие скорости нельзя назвать приемлемыми для большинства современных приложений, которые широко используют графику и другие мультимедийные формы представления данных. Модемы RAS обычно устанавливаются в точке присутствия поставщика услуг.

Если же целью пользователя является доступ не в Интернет, а в корпоративную сеть, то он задействует Интернет как промежуточную сеть, которая ведет к корпоративной сети (также подключенной к Интернету). Поскольку плата за доступ в Интернет не зависит от расстояния до узла назначения, удаленный доступ к ресурсам корпорации стал сегодня намного дешевле даже с учетом оплаты за локальный телефонный звонок и доступ в Интернет. Правда, при такой двухступенчатой схеме доступа пользователю приходится выполнять аутентификацию дважды — при доступе к RAS поставщика услуг и при доступе к RAS предприятия. Существуют протоколы, которые исключают подобное дублирование, например **двухточечный протокол туннелирования** (Point-to-Point Tunneling Protocol, PPTP). При работе PPTP сервер удаленного доступа поставщика услуг передает транзитом запрос пользователя серверу аутентификации предприятия и в случае положительного ответа соединяет пользователя через Интернет с корпоративной сетью. RAS может подключаться к телефонному коммутатору с помощью и аналоговых, и цифровых окончаний. Сервер RAS обслуживает подключенные к нему клиентские компьютеры, используя протокол Proxy-ARP (см. главу 14). Это означает, что клиентский компьютер работает в режиме *удаленного узла* локальной IP-сети, с которой соединен сервер RAS, получая на время соединения один из IP-адресов этой сети.

## Модемы

Модем реализует функции физического и канального уровней. Канальный уровень нужен модему для того, чтобы выявлять и исправлять ошибки, появляющиеся из-за искажений битов при передаче через телефонную сеть. Вероятность битовой ошибки

в этом случае довольно высока, поэтому функция исправления ошибок является очень важной для модема. Для протокола, который работает поверх модемного соединения между удаленным компьютером и RAS, канальный протокол модема прозрачен — его работа проявляется только в том, что интенсивность битовых ошибок (BER) снижается до приемлемого уровня. Так как в качестве канального протокола между компьютером и RAS сегодня в основном используется протокол PPP, который не занимается восстановлением искаженных и потерянных кадров, способность модема исправлять ошибки оказывается весьма полезной.

Протоколы и стандарты модемов определены в рекомендациях ITU-T серии V и делятся на три группы:

- стандарты, определяющие скорость передачи данных и метод кодирования;
- стандарты исправления ошибок;
- стандарты сжатия данных.

*Стандарты метода кодирования и скорости передачи данных.* Модемы являются одними из наиболее старых и заслуженных устройств передачи данных; в процессе своего -развития они прошли долгий путь, прежде чем научились работать на скоростях до 56 Кбит/с.

Первые модемы работали со скоростью 300 бит/с и исправлять ошибки не умели. Эти модемы функционировали в асинхронном режиме, означающем, что каждый байт передаваемой компьютером информации передавался асинхронно по отношению к другим байтам, для чего он сопровождался стартовыми и стоповыми символами, отличающимися от символов данных. Асинхронный режим упрощает устройство модема и повышает надежность передачи данных, но существенно снижает скорость передачи, так как каждый байт дополняется одним или двумя избыточными старт-стопными символами. Современные модемы могут работать как в асинхронном, так и синхронном режимах.

Переломным моментом в истории развития модемов стало принятие **стандарта V.34**, который повысил максимальную скорость передачи данных в два раза, с 14 до 28 Кбит/с, по сравнению со своим предшественником — стандартом V.32.

Особенностью стандарта V.34 являются *процедуры динамической адаптации* к изменениям характеристик канала во время обмена информацией. В V.34 определено 10 согласительных процедур, по которым модемы после тестирования линии выбирают свои основные параметры: несущую полосу и полосу пропускания, фильтры передатчика и др. Адаптация осуществляется в ходе сеанса связи без прекращения и без разрыва установленного соединения. Возможность такого адаптивного поведения была обусловлена развитием техники интегральных схем и микропроцессоров.

Первоначальное соединение модемов проводится по стандарту V.21 на минимальной скорости 300 бит/с, что позволяет работать на самых плохих линиях. Затем модемы продолжают переговорный процесс до тех пор, пока не достигают максимально возможной в данных условиях производительности. Применение адаптивных процедур

сразу позволило поднять скорость передачи данных более чем в 2 раза по сравнению с предыдущим стандартом — V.32 bis.

Принципы адаптивной настройки к параметрам линии были развиты в **стандарте V.34+**. Стандарт V.34+ позволил несколько повысить скорость передачи данных за счет усовершенствования метода кодирования. Один передаваемый кодовый символ несет в новом стандарте в среднем не 8,4 бита, как в протоколе V.34, а 9,8. При максимальной скорости передачи кодовых символов в 3429 бод (это ограничение непреодолимо — оно определяется полосой пропускания канала тональной частоты) усовершенствованный метод кодирования (один из вариантов QAM) дает скорость передачи данных в 33,6 Кбит/с ( $3429 \times 9,8 = 33604$ ). Протоколы V.34 и V.34+ позволяют работать на двухпроводной выделенной линии в дуплексном режиме. Дуплексный режим передачи в стандартах V.34, V.34+ поддерживается не частотным разделением канала, а одновременной передачей данных в обоих направлениях. Принимаемый сигнал определяется вычитанием с помощью процессоров DSP передаваемого сигнала из общего сигнала в канале. Для этого используются также процедуры эхо-подавления, так как передаваемый сигнал, отражаясь от ближнего и дальнего концов канала, вносит искажения в общий сигнал.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ**

Заметьте, что метод передачи данных, описанный в проекте стандарта 802.3ab, определяющего работу технологии Gigabit Ethernet на витой паре категории 5, взял многое из стандартов V.32–V.34+.

**Стандарт V.90** описывает технологию недорогого и быстрого доступа пользователей к сетям поставщиков услуг, предлагая асимметричный обмен данными: со скоростью до 56 Кбит/с из сети и со скоростью до 33,6 Кбит/с в сеть. Стандарт совместим со стандартом V.34+. Именно этот стандарт имелся в виду, когда мы говорили о возможности нисходящей передачи данных со скоростью 56 Кбит/с при условии, что вдоль всего пути не встретится ни одного аналого-цифрового преобразователя.

В **стандарте V.92** учитывается возможность принятия модемом второго вызова во время соединения. В таких случаях современные станции передают на телефонный аппарат специальные двойные тоновые сигналы, так что абонент может распознать эту ситуацию и, нажав на аппарате кнопку Flash, переключиться на второе соединение, переведя первое соединение в режим удержания. Модемы предыдущих стандартов в таких случаях просто разрывают соединение, что не всегда удобно для абонента — может быть, в этот момент он заканчивает загружать из Интернета большой файл, и вся его работа пропадает.

*Коррекция ошибок.* Для модемов, работающих с DTE по асинхронному интерфейсу, комитет ИТУ-Т разработал **протокол коррекции ошибок V.42**. До его принятия в модемах, работающих по асинхронному интерфейсу, коррекция ошибок обычно выполнялась по фирменным протоколам Microsoft. Эта компания реализовала в своих модемах несколько разных процедур коррекции ошибок, назвав их сетевыми протоколами Microcom (Microcom Networking Protocol, MNP) классов 2–4.

В стандарте V.42 основным является **протокол доступа к линии связи для модемов** (Link Access Protocol for Modems, LAP-M). Рекомендации V.42 позволяют устанавливать связь без ошибок с любым модемом, поддерживающим этот стандарт, а также с любым MNP-совместимым модемом. Протокол LAP-M принадлежит семейству HDLC и в целом работает так же, как и другие протоколы этого семейства — с установлением соединения, кадрированием данных, нумерацией кадров и восстановлением кадров с поддержкой метода скользящего окна.

*Сжатие данных.* Почти все современные модемы при работе по асинхронному интерфейсу поддерживают **стандарты сжатия данных ITU-T V.42bis и MNP-5** (обычно с коэффициентом 1:4, некоторые модели — до 1:8). Сжатие данных повышает пропускную способность линии связи. Передающий модем автоматически сжимает данные, а принимающий их восстанавливает. Модем, поддерживающий протокол сжатия, всегда пытается установить связь со сжатием данных, но если второй модем этот протокол не поддерживает, то и первый модем переходит на обычную связь без сжатия. При работе модемов по синхронному интерфейсу наиболее популярным является протокол **сжатия синхронных потоков данных** (Synchronous Data Compression, SDC) компании Motorola.

## **Технология ADSL**

Технология **асимметричного цифрового абонентского окончания** (Assymetric Digital Subscriber Line, **ADSL**) была разработана для обеспечения скоростного доступа в Интернет массовых индивидуальных пользователей, квартиры которых оснащены обычными абонентскими телефонными окончаниями. Появление технологии ADSL было революционным событием для массовых пользователей Интернета, потому что для них оно означало повышение скорости доступа в десятки (а то и более) раз без какого бы то ни было изменения кабельной проводки в квартире и доме. Для доступа через ADSL, как и для аналогового коммутируемого доступа, нужны телефонные абонентские окончания и модемы.

Принципиальным отличием доступа через ADSL от коммутируемого доступа является то, что ADSL-модемы работают только в пределах абонентского окончания, в то время как коммутируемые модемы используют возможности телефонной сети, устанавливая в ней соединение «из конца в конец», которое проходит через несколько транзитных коммутаторов.

Поэтому если традиционные телефонные модемы (например, V.34, V.90) должны обеспечивать передачу данных на канале с полосой пропускания в 3100 Гц, то ADSL-модемы получают в свое распоряжение полосу порядка 1 МГц — эта величина зависит от длины кабеля, проложенного между помещением пользователя и POP, и сечения проводов этого кабеля. Схема доступа через ADSL показана на рис. 19.8.

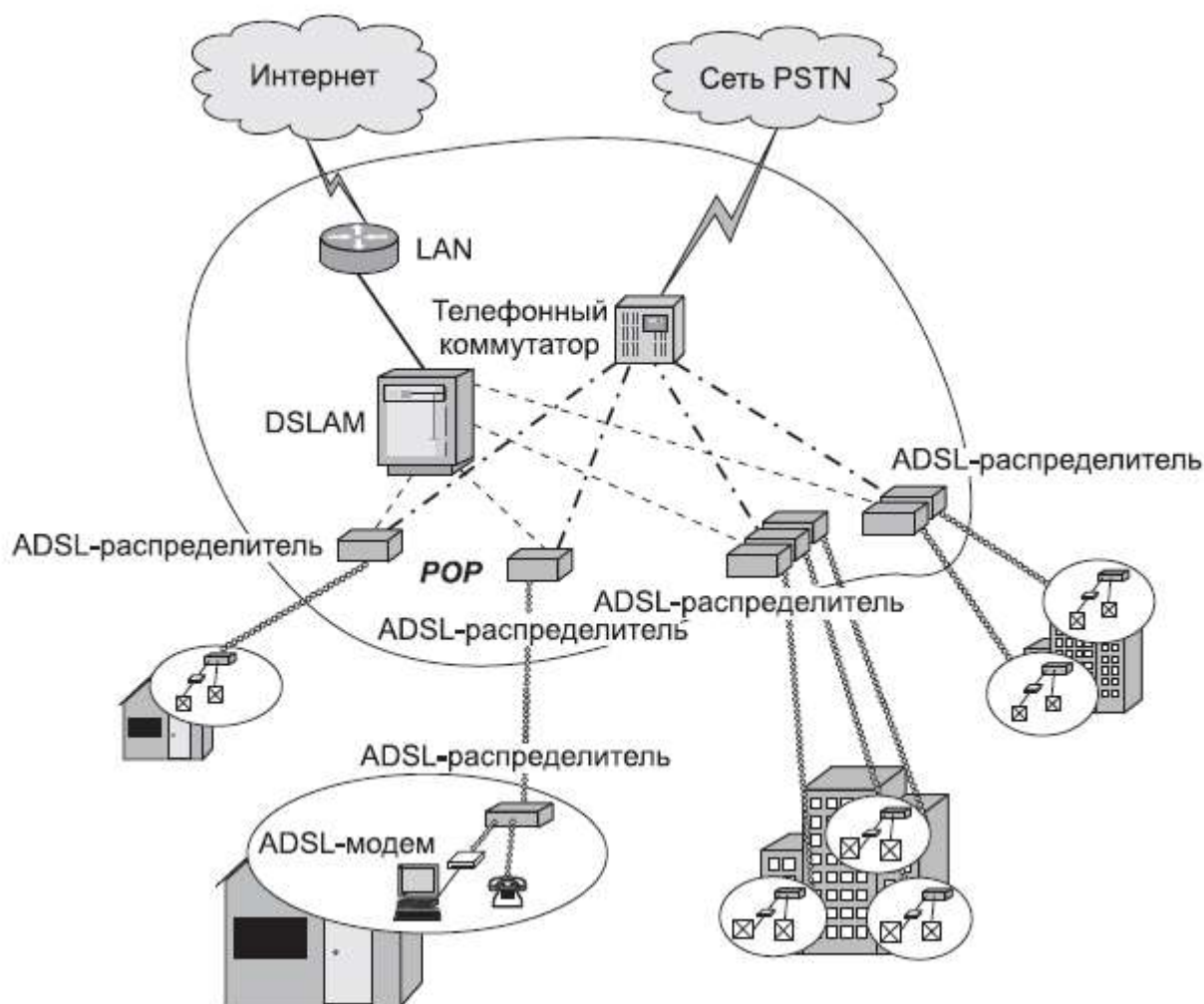


Рис. 19.8. Отличия условий работы ADSL-модемов от обычных модемов

ADSL-модемы, подключаемые к обоим концам короткой линии между абонентом и POP, образуют три канала: высокоскоростной нисходящий канал передачи данных из сети в компьютер, менее скоростной восходящий канал передачи данных из компьютера в сеть, а также канал телефонной связи, по которому передаются обычные телефонные разговоры. Передача данных в канале от сети к абоненту в стандарте ADSL 1998 года происходит со скоростью от 1,5 до 8 Мбит/с, а в канале от абонента к сети — от 16 Кбит/с до 1 Мбит/с; для телефона оставлена традиционная полоса в 4 кГц (рис. 19.9).



Рис. 19.9. Распределение полосы пропускания абонентского окончания между каналами ADSL

Для асимметрии нисходящей и восходящей скоростей полоса пропускания абонентского окончания делится между каналами также асимметрично. На рис. 19.10 показано распределение полосы между каналами, при этом приведенные величины для восходящей и нисходящей полос являются максимальными значениями, которые модем в каждом конкретном сеансе может использовать полностью или же частично.

Неопределенность используемых полос частот объясняется тем, что модем постоянно тестирует качество сигнала и выбирает только те части выделенного для передачи спектра, в которых соотношение сигнал/шум является приемлемым для устойчивой передачи дискретных данных. Заранее сказать, в каких частях выделенного спектра это соотношение окажется приемлемым, невозможно, так как это зависит от длины абонентского окончания, сечения провода, качества витой пары в целом, а также помех, которые наводятся на провода абонентского окончания. ADSL-модемы умеют адаптироваться к качеству абонентского окончания и выбирать максимально возможную на данный момент скорость передачи данных.

В помещении клиента устанавливается распределитель, который выполняет разделение частот между ADSL-модемом и обычным аналоговым телефоном, обеспечивая их совместное сосуществование. В POP устанавливается так называемый **мультиплексор доступа к цифровому абонентскому окончанию (Digital Subscriber Line Access Multiplexer, DSLAM)**. Он принимает компьютерные данные, отделенные распределителями на дальнем конце абонентских окончаний от голосовых сигналов. DSLAM-мультиплексор должен иметь столько ADSL-модемов, сколько пользователей удаленного доступа обслуживает поставщик услуг с помощью телефонных абонентских окончаний. После преобразования модулированных сигналов в дискретную форму DSLAM отправляет данные на IP-маршрутизатор, который также обычно находится в помещении POP. Далее данные поступают в магистраль передачи данных поставщика услуг и доставляются в соответствии с IP-адресами назначения на публичный сайт Интернета или в корпоративную сеть пользователя. Отделенные распределителем голосовые сигналы передаются на телефонный коммутатор, который

обрабатывает их так, как если бы абонентское окончание пользователя было непосредственно к нему подключено.

Широкое распространение технологий ADSL должно сопровождаться некоторой перестройкой работы поставщиков услуг Интернета и операторов телефонных сетей, так как их оборудование должно теперь работать совместно. Возможен также вариант, когда альтернативный оператор связи берет оптом в аренду большое количество абонентских окончаний у традиционного местного оператора или же арендует некоторое количество модемов в DSLAM. Технология ADSL постоянно совершенствуется, стараясь поднять потолки скоростей нисходящего и восходящего потоков в соответствии с растущими требованиями пользователей, желающими смотреть видео в хорошем качестве на домашних компьютерах. В стандарте ADSL2+ удалось поднять верхний потолок скорости нисходящего потока до 24, а восходящего — до 1,4 Мбит/с за счет расширения используемой полосы пропускания абонентского окончания до 2,2 МГц и ее более эффективного использования.

Высокие скорости ADSL-модемов порождают для поставщиков услуг новую проблему, а именно — проблему дефицита пропускной способности. Действительно, если бы каждый абонент доступа через ADSL загружал данные из Интернета с максимальной скоростью, например 1 Мбит/с, то при 100 абонентах поставщику услуг потребовался бы канал с пропускной способностью 100 Мбит/с, то есть Fast Ethernet, а если разрешить пользователям работать со скоростью 6 Мбит/с, то уже нужен канал 10G Gigabit Ethernet.

Более высокие скорости, чем ADSL2+, обеспечивают так называемый широкополосный доступ по оптическому волокну до распределительного шкафа (Fibre To The Cabinet). Этот способ доступа комбинирует ADSL2+ доступ от помещения пользователя до уличного распределительного шкафа провайдера по телефонным медным парам, с передачей данных по оптическому волокну от распределительного шкафа до точки доступа провайдера. За счет такого решения сокращается длина медного окончания, а значит, повышается его полоса пропускания. При расстояниях медного окончания меньше 400 м нисходящая скорость может достигать 60–70 Мбит/с, а восходящая — до 20 Мбит/с.

## Доступ через сети кабельного телевидения

Кабельное телевидение является одной из телекоммуникационных услуг, для которой была создана собственная разветвленная инфраструктура абонентских окончаний. Хотя кабельное телевидение и уступает по распространенности телефонной сети, тем не менее количество коаксиальных абонентских окончаний, соединяющих дома и квартиры с точками присутствия поставщиков услуг, в некоторых странах стало приближаться к количеству абонентских телефонных окончаний. Учитывая, что коаксиальный кабель обладает гораздо более широкой полосой пропускания (как минимум, 700–800 МГц), абонентское окончание CATV может вполне справиться с одновременной передачей телефонного, компьютерного и телевизионного трафиков. Схема использования линий CATV в качестве универсальных окончаний для доступа в Интернет, телефонную сеть и сеть кабельного телевидения, нами в общих чертах уже

рассматривалась. Именно окончание CATV было выбрано в качестве примера на рис. 23.2. Теперь мы остановимся на некоторых деталях этого вида доступа. Отличием абонентского окончания CATV является то, что к коаксиальному кабелю по схеме монтажного ИЛИ подключаются одновременно несколько абонентов (рис. 23.13). Это может быть несколько десятков домов или же сотен квартир многоквартирного дома. Поэтому абонентское окончание CATV представляет собой классическую разделяемую среду, которая используется, например, в сетях Ethernet на коаксиальном кабеле.

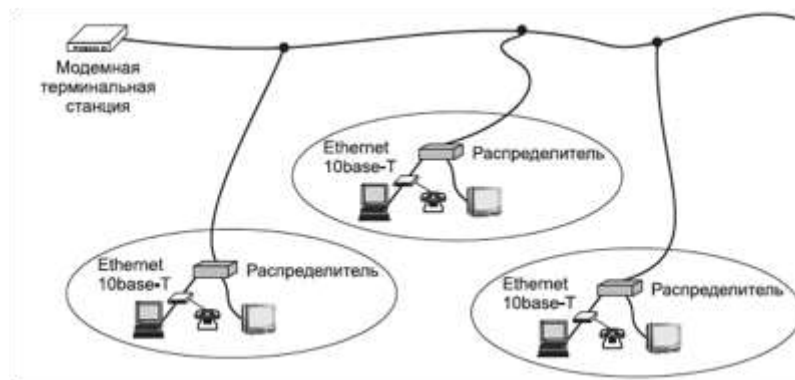


Рис. 23.13. Подключение кабельных модемов к окончанию CATV

В отсутствие кабельных модемов оборудование CATV используется для широковещательного распространения телевизионных программ до телевизионных приемников абонентов CATV из источника информации, расположенного в точке присутствия поставщика услуг. Для этого занимает диапазон частот от 50 до 550–868 МГц (точное значение зависит от национальной политики выделения частот). Каждой программе CATV выделяется в этом диапазоне полоса в 6 или 8 МГц, сигнал которой шифруется и может быть дешифрован приемниками тех абонентов, которые подписались на прием определённой программы.

Для использования такого абонентского окончания в помещении каждого абонента высокоскоростного доступа устанавливается распределитель и кабельный модем, а в точке присутствия — головной модем, который еще называют **модемной терминальной станцией** (Cable Modem Termination Station, CMTS).

Для двунаправленной передачи компьютерных данных кабельные модемы пользователей и станция CMTS занимают неиспользуемые телевизионными программами частоты. Обычно это диапазон относительно низких частот от 5 до 50 МГц, расположенный ниже частот телевизионных программ, а также диапазон высоких частот выше 550 МГц.

Диапазон низких частот используется для менее скоростного восходящего канала, а диапазон высоких частот — для высокоскоростного нисходящего канала. Скорость передачи данных в восходящем направлении может достигать до 10 Мбит/с, а в нисходящем — до 30–40 Мбит/с. Модемы пользователей могут взаимодействовать только со станцией CMTS.

Так как восходящий и нисходящий каналы разделены по частотам, абонентское окончание CATV образует две разделяемые среды.

Для нисходящего канала CMTS является единственным передатчиком информации, поэтому здесь не возникает конкуренции за доступ к среде. Станция CMTS использует нисходящий канал для передачи по нему кадров данных всем абонентам, используя адресацию Ethernet и деление канала во времени.

Восходящий канал задействуется в режиме множественного доступа всеми кабельными модемами, подключенными к данному абонентскому окончанию. В этой разделяемой среде CMTS играет роль *арбитра*. Каждый абонентский модем начинает передачу только после того, как получит разрешение на это от головного модема по прямому каналу. Для того чтобы один абонентский модем не занимал канал надолго, CMTS назначает каждому абонентскому модему тайм-слот ограниченного размера. Тайм-слоты распределяются только между активными модемами — это позволяет расходовать ограниченную пропускную способность максимально эффективно. Для вновь подключаемых абонентских модемов предназначены специальные тайм-слоты. При включении абонентский модем использует такой тайм-слот, чтобы оповестить CMTS о своем присутствии в сети. Далее он ожидает, когда ему будет выделен тайм-слот на равных основаниях с другими модемами. Кабельный модем абонента может иметь разъем для подключения обычного телефона, для которого также выделяется полоса в 4 МГц в нижнем диапазоне частот. В этом случае абонент получает от одного поставщика услуг доступ трех типов — телефонный, компьютерный и телевизионный.

## Пассивные оптические сети

Проведение оптического волокна от точки присутствия оператора до здания пользователя является самым качественным решением проблемы организации удаленного доступа, позволяя обеспечить высокие скорости обмена данными и хорошую защищенность данных. Для подключения многочисленных зданий индивидуальных и корпоративных пользователей, занимающих значительную территорию, оператор должен создать некоторую сеть доступа. Для ее организации оператор может задействовать технологии PDH, SDH или OTN, которые мы рассматривали в главе 10. Оптическая сеть, построенная на этих технологиях, должна включать такие устройства, как усилители, повторители и мультиплексоры. Все эти устройства являются активными, то есть включают электрические схемы, нуждающиеся в электропитании. Такое решение, безусловно, вполне допустимо, и многие операторы его применяют для построения сетей доступа, требующих прокладки оптического волокна до помещений пользователей. Однако это решение является довольно дорогим. Для удешевления оптической сети доступа еще в середине 90-х годов была предложена технология, получившая название **пассивная оптическая сеть** (Passive Optical Network, **PON**).

Название «пассивная» происходит от применения в сети пассивных оптических устройств — разветвителей (splitter), не требующих электропитания. С помощью разветвителей организуется древовидная оптоволоконная структура, соединяющая точку присутствия оператора с помещениями пользователей (рис. 19.10).

Разветвитель выполняет простую операцию — он направляет световой сигнал из одного входного волокна в несколько выходных, идущих по направлению к пользователям. Разветвитель выполняет также обратную операцию мультиплексирования сигналов пользователей в одно волокно, идущее к POP.

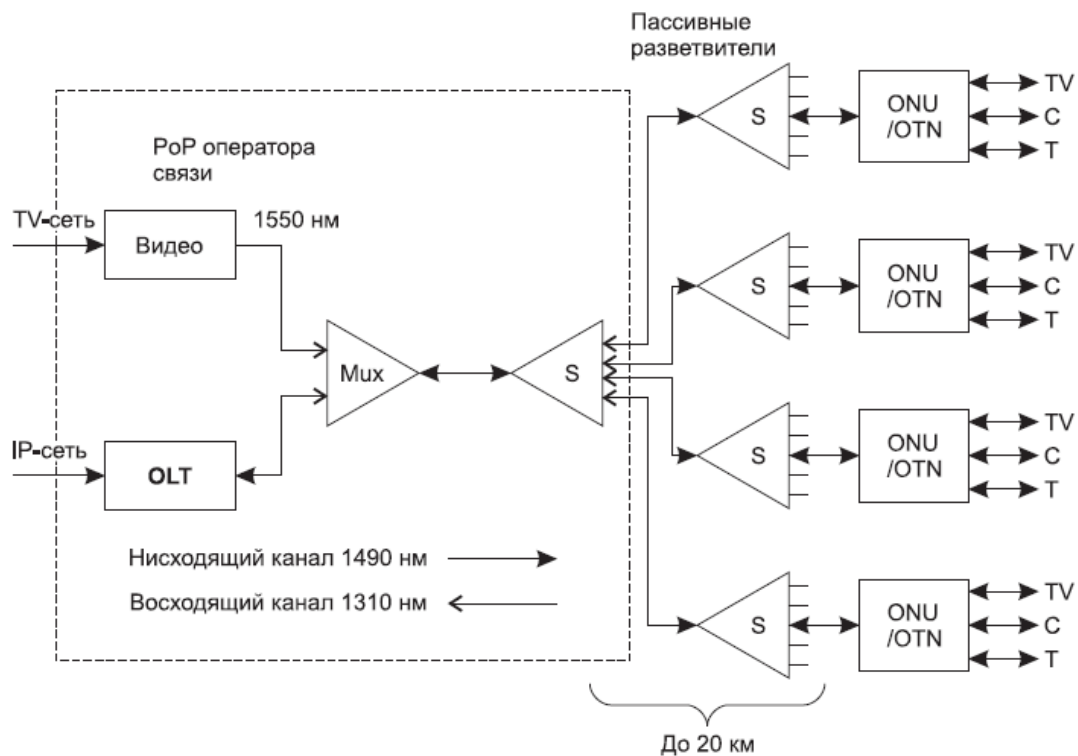


Рис. 19.10. Структура пассивной оптической сети доступа

Коэффициент разветвления этих пассивных устройств может достигать значений 1:16 или 1:32, а максимальное расстояние от них до активных устройств, находящихся в точке присутствия оператора, равно 20 км (применяется одномодовое волокно, то есть SMF). Поскольку разветвители не требуют электропитания, их можно размещать в близких к зданиям пользователей точках городской инфраструктуры, где активные устройства не смогли бы работать, тем самым сокращается суммарная длина оптического волокна. Экономия достигается за счет того, что вместо  $N$  индивидуальных волокон на отрезке между центральным офисом оператора и разветвителем требуется только одно общее волокно. Кроме того, пассивные разветвители сами по себе дешевле активных мультиплексоров. Оператор может применять не один, а два уровня разветвления. На рисунке показан именно такой вариант — первый разветвитель распределяет сигнал между четырьмя волокнами, а разветвители второго уровня распределяют его между конечными пользователями.

К вершине дерева оптических волокон подключается центральный **терминал оптической линии** (Optical Line Terminal, **OLT**). К каждому оптическому волокну на стороне пользователя подключается **модуль оптической сети** (Optical Network Unit, **ONU**), совместно с OLT организующий прием и передачу данных между пользователем и сетью оператора связи. Кроме ONU на стороне пользователя должен работать **терминал оптической сети** (Optical Network Terminal, **ONT**), который обеспечивает интерфейсы для терминальных устройств пользователя — телевизора, компьютера и телефона (соответственно TV, C и T на рисунке). Часто функции ONU и ONT совмещены в одном и том же устройстве (как это и показано на рисунке).

Для передачи цифровой информации в нисходящем (от OLT к модулям ONU) и восходящем (от модулей ONU к OLT) направлениях используется две волны, распространяемые в одном волокне: 1490 нм для нисходящего направления и 1310 нм для восходящего. Для передачи видеосигнала обычно выделяется отдельная волна в 1550 нм, идущая в нисходящем направлении. Волны мультиплексируются в OLT и ONU по технологии WDM.

По своей природе древовидная сеть доступа, построенная на пассивных разветвителях и отрезках оптического волокна, является *разделяемой средой*. Действительно, световой сигнал некоторой волны, отправленный OLT, одновременно распространяется по всем отрезкам оптического волокна и достигает всех пользователей сети. При передаче в обратном направлении разделяемой средой являются отрезки волокна от разветвителей, установленных на стороне пользователей, а также разветвителя, установленного в POP (в нашем примере имеется четыре разделяемые среды для обратного направления).

Очевидно, что для работы на разделяемой среде необходим какой-то способ доступа, регулирующий ее использование таким образом, чтобы сигналы, посылаемые разными узлами, не смешивались. Правда, проблема скоординированного применения разделяемой среды существует только для восходящего направления. Для нисходящего направления в сети имеется только один передатчик — OLT. Поэтому передатчик OLT передает кадры данных (например, кадры Ethernet), направленные некоторому конечному узлу сети PON, тогда, когда ему это необходимо (то есть тогда, когда такой кадр поступает в OLT из локальной сети оператора, к которой подключен передатчик). Кадр поступает по древовидной пассивной оптической сети *на все* конечные узлы сети, но принимает его только тот узел, который распознает собственный адрес в заголовке кадра, остальные узлы просто игнорируют чужой кадр.

Для восходящего направления обычно применяется схема с центральным арбитром в сочетании с мультиплексированием с разделением времени TDM. Арбитром является центральное устройство OLT, управляющее распределением тайм-слотов между модулями ONU. Модуль ONU передает в восходящем направлении кадры данных только в пределах своего тайм-слота, все остальное время он простаивает, накапливая кадры для передачи в своем буфере. Алгоритм распределения тайм-слотов между модулями ONU может быть адаптивным, подстраивающимся под имеющиеся потребности модулей ONU в передаче кадров. Для телевизионного сигнала проблемы разделения среды не существует, так как он передается только в нисходящем направлении, причем всем приемникам нужен один и тот же сигнал.

Как и во всех технологиях, использующих разделяемую среду, пропускная способность сети PON, приходящаяся на один узел, может быть существенно ниже скорости передачи данных в среде. Если все узлы сети активно обмениваются информацией с внешним миром, то доля скорости для узла снижается в  $N$  раз.

Существует две группы стандартов PON: от ITU-T и от IEEE. Последние версии этих стандартов поддерживают скорости передачи данных 1 и 10 Гбит/с.

Стандарты ITU-T GPON (Gigabit PON) и XG-PON (10 Gigabit PON) обеспечивают совместимость с технологией SDH. Эти стандарты предлагают собственный формат кадров, который может эффективно переносить несколько пользовательских кадров, например кадров Ethernet. Кадры GPON и XG-PON также могут переносить данные SDH с сохранением их синхронности, что важно при передаче голоса и видео.

Стандарты ITU-T обеспечивают несимметричные скорости передачи данных: 2,488/1,244 и 9,953/2,488 Гбит/с.

Стандарты IEEE EPON (Ethernet PON, 802.3ah) и 10G-EPON (10G Ethernet PON, 802.3av) поддерживают кадры Ethernet непосредственно. В этих стандартах канал передачи данных является симметричным, то есть данные передаются как в нисходящем, так и в восходящем направлениях с одинаковой скоростью 1 и 10 Гбит/с соответственно.

*(S) Доступ через сети кабельного телевидения*

*(S) Беспроводной доступ*