

9. Построение глобальных сетей на основе выделенных линий

Выделенный канал — это канал с фиксированной полосой пропускания или фиксированной пропускной способностью, постоянно соединяющий двух абонентов. Абонентами могут быть как отдельные устройства (компьютеры или терминалы), так и целые сети.

Выделенные каналы обычно арендуются у компаний — операторов территориальных сетей, хотя крупные корпорации могут прокладывать свои собственные выделенные каналы.

Выделенные каналы делятся на аналоговые и цифровые в зависимости от того, какого типа коммутационная аппаратура применена для постоянной коммутации абонентов — FDM или TDM. На аналоговых выделенных линиях для аппаратуры передачи данных физический и канальный протоколы жестко не определены. Отсутствие физического протокола приводит к тому, что пропускная способность аналоговых каналов зависит от пропускной способности модемов, которые использует пользователь канала. Модем собственно и устанавливает нужный ему протокол физического уровня для канала.

На цифровых выделенных линиях протокол физического уровня зафиксирован — он задан стандартом G.703.

На канальном уровне аналоговых и цифровых выделенных каналов обычно используется протокол PPP, построенный на основе HDLC для связи многопротокольных сетей.

9.1. Аналоговые выделенные линии

Типы аналоговых выделенных линий

Этот вид выделенных линий широко использовался на начальном этапе развития глобальных компьютерных сетей. Выделенные аналоговые каналы предоставлялись пользователю с 4-проводным или 2-проводным окончанием. На каналах с 4-проводным окончанием организация полнодуплексной связи, естественно, выполнялась более простыми способами.

Выделенные аналоговые линии можно разделить на две группы по наличию промежуточной аппаратуры коммутации и усиления или ее отсутствию.

Первую группу составляют так называемые нагруженные линии, проходящие через оборудование частотного уплотнения (FDM-коммутаторы и мультиплексоры), расположенное, например, на АТС. Телефонные компании могли предоставить в аренду выделенный канал тональной частоты с полосой пропускания 3,1 кГц. На сегодняшний день данные линии практически не используются.

Вторая группа выделенных линий — это ненагруженные физические проводные линии. Этот вид аналоговых выделенных линий некоторые организации эксплуатируют и в настоящее время для передачи технологической информации. Они могут кроссироваться, но при этом не проходят через аппаратуру частотного уплотнения. Часто такие линии используются для связи между близко стоящими зданиями. При небольшой длине ненагруженной выделенной линии она обладает достаточно широкой полосой пропускания, иногда до нескольких МГц, что позволяет передавать импульсные немодулированные сигналы. На первый взгляд может показаться, что ненагруженные линии не имеют отношения к глобальным сетям, так как их можно использовать при протяженности максимум в несколько километров, иначе затухание становится слишком большим для передачи данных. Однако в недавнем прошлом именно этот вид выделенных каналов привлек пристальное внимание разработчиков средств удаленного доступа. Дело в том, что телефонные абонентские окончания — отрезок витой пары от АТС до жилого или производственного здания — представляют собой именно такой вид каналов. В связи с этим до ближайшей АТС данные от удаленного компьютера или сети можно было передавать гораздо быстрее, чем по каналам тональной частоты. Использование выделенных ненагруженных каналов для удаленного доступа к сети стало основной задачей, решаемой технологией ADSL (xDSL).

Модемы для работы на выделенных каналах.

Для передачи данных по выделенным нагруженным аналоговым линиям использовались модемы, работающие на основе методов аналоговой модуляции сигнала. Протоколы и стандарты модемов были определены в рекомендациях CCITT серии V.

Эти стандарты определяют работу модемов как для выделенных, так и коммутируемых линий. Модемы можно также классифицировать в зависимости от того, какой режимы работы они поддерживают (асинхронный, синхронный или оба этих режима), а также к какому окончанию (4-проводному или 2-проводному) они подключены.

В отношении режима работы модемы делятся на три группы:

- модемы, поддерживающие только асинхронный режим работы;
- модемы поддерживающие асинхронный и синхронный режимы работы;
- модемы, поддерживающие только синхронный режим работы.

Модемы, работающие *только в асинхронном режиме*, поддерживали низкую скорость передачи данных — до 1200 бит/с. Дуплексный режим на 2-проводном окончании обеспечивался частотным разделением канала. Асинхронные модемы представляли наиболее дешевый вид модемов, так как им не требовались высокоточные схемы синхронизации сигналов на кварцевых генераторах. Кроме того, асинхронный режим работы неприхотлив к качеству линии.

Модемы, работающие *только в синхронном режиме*, могли подключаться только к 4-проводному окончанию.

Модемы, *работающие в асинхронном и синхронном режимах*, являлись наиболее универсальными устройствами, что и определило их массовое использование. Они могли работать как по выделенным, так и по коммутируемым каналам, обеспечивая дуплексный режим работы. На выделенных каналах они поддерживали в основном 2-проводное окончание и гораздо реже — 4-проводное.

Для асинхронно-синхронных модемов стандарты серии V определили следующие максимальные скорости передачи данных:

- V.22 — 1200 бит/с;
- V.22 bis — 2400 бит/с;
- V.26 ter — 2400 бит/с;
- V.32 — 9600 бит/с;
- V.32 bis — 14 400 бит/с;
- V.34 — 28,8 Кбит/с;
- V.34+ — 33,6 Кбит/с.

Стандарт V.34, принятый летом 1994 года, разрабатывался CCITT довольно долго — с 1990 года. Большой вклад в его разработку внесла компания Motorola. Стандарт V.34 разрабатывался для передачи информации по каналам практически любого качества. Особенностью стандарта являлись процедуры динамической адаптации к изменениям характеристик канала во время обмена информацией. Адаптация осуществлялась в ходе сеанса связи — без прекращения и без разрыва установленного соединения.

Основное отличие V.34 от предшествующих стандартов заключалось в том, что в нем определено 10 процедур, по которым модем после тестирования линии выбирает свои основные параметры: несущую и полосу пропускания (выбор проводится из 11 комбинаций), фильтры передатчика, оптимальный уровень передачи и другие. Первоначальное соединение модемов проводилось по стандарту V.21 на минимальной скорости 300 бит/с, что позволяло работать на самых плохих линиях. Для кодирования данных использовались избыточные коды квадратурной амплитудной модуляции QAM. 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+, который являлся усовершенствованным вариантом стандарта V.34. Стандарт V.34+ позволил несколько повысить скорость передачи данных за счет усовершенствования метода кодирования. Один передаваемый кодовый символ нес 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 преодолеть было нельзя, так как оно определялось полосой пропускания

канала тональной частоты) усовершенствованный метод кодирования давал скорость передачи данных в 33,6 Кбит/с ($3429 \times 9,8 = 33604$).

Дуплексный режим передачи в стандартах V.32, V.34, V.34+ обеспечивался не с помощью частотного разделения канала, а с помощью одновременной передачи данных в обоих направлениях. Принимаемый сигнал определялся вычитанием с помощью сигнальных процессоров (DSP) передаваемого сигнала из общего сигнала в канале. Этот метод передачи данных позднее был использован в стандарте 802.3ab, определяющем работу технологии Gigabit Ethernet на витой паре категории 5 (подробно была рассмотрена в курсе ТЛВС).

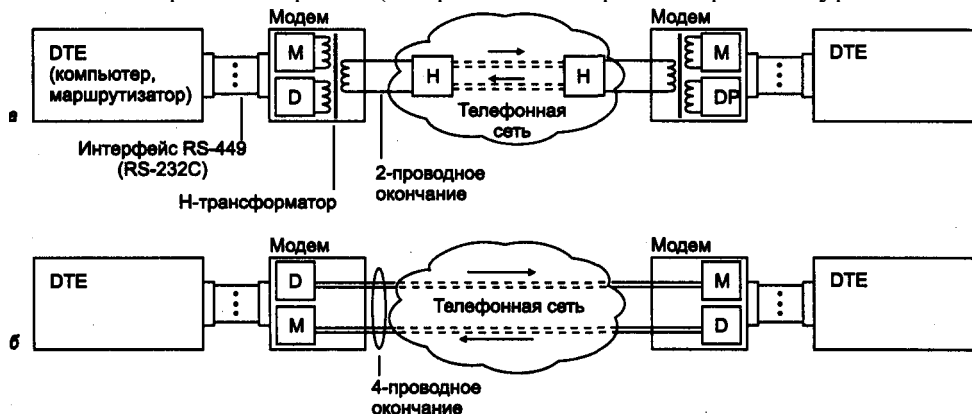


Рисунок 9.1. Соединение локальных сетей или компьютеров по выделенному каналу

Типовая структура соединения двух компьютеров или локальных сетей через модемы с помощью выделенной аналоговой линии приведена на рис. 9.1. В случае 2-проводного окончания (см. рис. 9.1, а) для обеспечения дуплексного режима модем использует трансформаторную развязку. При наличии 4-проводного окончания (см. рис. 9.1, б) схема модема упрощается.

9.2. Цифровые выделенные линии

Цифровые выделенные линии образуются путем постоянной коммутации в первичных сетях, построенных на базе коммутационной аппаратуры, работающей на принципах разделения канала во времени — TDM. Существуют два поколения технологий цифровых первичных сетей — технология плезиохронной («плезио» означает «почти», то есть почти синхронной) цифровой иерархии (Plesiochronic Digital Hierarchy, PDH) и более поздняя технология — синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy, SDH). В Северной Америке технологии SDH соответствует стандарт SONET.

Технология плезиохронной цифровой иерархии PDH

Цифровая аппаратура мультиплексирования и коммутации была разработана в конце 60-х годов XX века компанией AT&T для решения проблемы связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой. Каналы с частотным уплотнением, применяемые до этого на участках АТС-АТС, исчерпали свои возможности по организации высокоскоростной многоканальной связи по одному кабелю. В технологии FDM для одновременной передачи данных 12 или 60 абонентских каналов использовалась витая пара, а для повышения скорости связи приходилось прокладывать кабели с большим количеством пар проводов или более дорогие коаксиальные кабели. Кроме того, метод частотного уплотнения высоко чувствителен к различного рода помехам, которые всегда присутствуют в территориальных кабелях, да и высокочастотная несущая речи сама создает помехи в приемной аппаратуре, будучи плохо отфильтрована.

Для решения этой задачи была разработана аппаратура T1, которая позволяла в цифровом виде мультиплексировать, передавать и коммутировать (на постоянной основе) данные 24 абонентов. Так как абоненты по-прежнему пользовались обычными телефонными аппаратами, то есть передача голоса шла в аналоговой форме, то мультиплексоры T1 сами осуществляли оцифровывание голоса с частотой 8000 Гц и кодировали голос с помощью

импульсно-кодовой модуляции (Pulse Code Modulation, PCM). В результате каждый абонентский канал образовывал цифровой поток данных 64 Кбит/с. Для соединения магистральных АТС каналы T1 представляли собой слишком слабые средства мультиплексирования, поэтому в технологии была реализована идея образования каналов с иерархией скоростей. Четыре канала типа T1 объединялись в канал следующего уровня цифровой иерархии — T2, передающий данные со скоростью 6,312 Мбит/с, а семь каналов T2 давали при объединении канал T3, передающий данные со скоростью 44,736 Мбит/с. Аппаратура T1, T2 и T3 могла взаимодействовать между собой, образуя иерархическую сеть с магистральными и периферийными каналами трех уровней скоростей.

С середины 70-х годов прошлого века выделенные каналы, построенные на аппаратуре T1, стали сдаваться телефонными компаниями в аренду на коммерческих условиях, перестав быть внутренней технологией этих компаний. Сети T1, а также более скоростные сети T2 и T3 позволяли передавать не только голос, но и любые данные, представленные в цифровой форме, — компьютерные данные, телевизионные и радио трансляции и т. п.

Технология PDH была позже стандартизована CCITT. При этом в нее были внесены некоторые изменения, что привело к несовместимости американской и международной версий цифровых сетей. Американская версия была распространена кроме США также в Канаде и Японии (с некоторыми различиями), а в Европе стал применяться международный стандарт. Аналогом каналов T в международном стандарте являются каналы типа E1, E2 и E3 с другими скоростями — соответственно 2,048 Мбит/с, 8,488 Мбит/с и 34,368 Мбит/с. Американский вариант технологии был стандартизован ANSI.

Несмотря на различия американской и международных версий технологии плезиохронной цифровой иерархии, для обозначения иерархии скоростей было принято использовать одни и те же обозначения — DS_n (Digital Signal n). В табл. 9.1 приводятся значения для всех введенных стандартами уровней скоростей обеих технологий.

Таблица 9.1. Иерархия цифровых скоростей

Америка				CCITT (Европа)		
Обозначение скорости	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость, Мбит/с	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость, Мбит/с
DS-0	1	1	64 Кбит/с	1	1	64 Кбит/с
DS-1	24	24	1,544	30	30	2,048
DS-2	96	4	6,312	120	4	8,488
DS-3	672	7	44,736	480	4	34,368
DS-4	4032	6	274,176	1920	4	139,264

На практике в основном использовались каналы T1/E1 и T3/E3.

Мультиплексор T1 обеспечивает передачу данных 24-х абонентов со скоростью 1,544 Мбит/с в кадре, имеющем достаточно простой формат. В этом кадре последовательно передается по одному байту каждого абонента, а после 24-х байт вставляется один бит синхронизации. Первоначально устройства T1 (которые дали имя также и всей технологии, работающей на скорости 1,544 Мбит/с) работали только на внутренних тактовых генераторах, и каждый кадр с помощью битов синхронизации мог передаваться асинхронно. Аппаратура T1, а также более скоростная аппаратура T2 и T3 за долгие годы существования претерпела значительные изменения. Более поздние мультиплексоры и коммутаторы первичной сети стали работать на централизованной тактовой частоте, распределяемой из одной точки всей сети. Однако принцип формирования кадра остался, поэтому биты синхронизации в кадре остались на месте. Суммарная скорость пользовательских каналов составляет $24 \times 64 = 1,536$ Мбит/с, а еще 8 Кбит/с добавляются битами синхронизации.

В аппаратуре T1 назначение восьмого бита каждого байта в кадре разное и зависит от типа передаваемых данных и поколения аппаратуры.

При передаче голоса в сетях T1 все 24 канала являются абонентскими, поэтому управляющая и контрольная информация передается восьмым (наименее значащим) битом

замеров голоса. В ранних версиях сетей T1 служебным был 8-й бит каждого байта кадра, поэтому реальная скорость передачи пользовательских данных составляла 56 Кбит/с (обычно восьмой бит отводился под такие служебные данные, как номер вызываемого телефонного абонента, сигнал занятости линии, сигнал снятия трубки и т. п.). Затем технология была улучшена и для служебных целей стали использовать только каждый шестой кадр. Таким образом, в пяти кадрах из шести пользовательские данные представлены всеми восемью битами, а в шестом — только семью.

При передаче компьютерных данных канал T1 предоставляет для пользовательских данных только 23 канала, а 24-й канал отводится для служебных целей, в основном — для восстановления искаженных кадров. Для одновременной передачи как голосовых, так и компьютерных данных используются все 24 канала, причем компьютерные данные передаются со скоростью 56 Кбит/с. Техника использования восьмого бита для служебных целей получила название «кражи бита» (bit robbing).

При мультиплексировании 4-х каналов T1 в один канал T2 между кадрами DS-1 по-прежнему используется один бит синхронизации, а кадры DS-2 (которые состоят из 4-х последовательных кадров DS-1) разделяются 12 служебными битами, которые предназначены не только для разделения кадров, но и для их синхронизации. Соответственно, кадры DS-3 состоят из 7 кадров DS-2, разделенных служебными битами.

Международная версия этой технологии описана в стандартах G.700-G.706. Она более логична, так как не использует схему «кражи бита». Кроме того, она основана на постоянном коэффициенте кратности скорости 4 при переходе к следующему уровню иерархии. Вместо восьмого бита в канале E1 на служебные цели отводятся 2 байта из 32. Для голосовых каналов или каналов данных остается 30 каналов со скоростью передачи 64 Кбит/с каждый.

Пользователь может арендовать несколько каналов 64 Кбит/с (56 Кбит/с) в канале T1/E1. Такой канал называется «дробным» (fractional) каналом T1/E1. В этом случае пользователю отводится несколько тайм-слотов работы мультиплексора.

Физический уровень технологии PDH поддерживает различные виды кабелей: витую пару, коаксиальный кабель и волоконно-оптический кабель. Основным вариантом абонентского доступа к каналам T1/E1 является кабель из двух витых пар с разъемами RJ-48. Две пары требуются для организации дуплексного режима передачи данных со скоростью 1,544/2,048 Мбит/с. Для представления сигналов используется: в каналах T1 биполярный потенциальный код B8ZS, в каналах E1 — биполярный потенциальный код HDB3. Для усиления сигнала на линиях T1 через каждые 1600 м (одна миля) устанавливаются регенераторы и аппаратура контроля линии.

Коаксиальный кабель благодаря своей широкой полосе пропускания поддерживает канал T2/E2 или 4 канала T1/E1. Для работы каналов T3/E3 обычно используется либо коаксиальный кабель, либо волоконно-оптический кабель, либо каналы СВЧ.

Физический уровень международного варианта технологии определяется стандартом G.703, названием которого обозначается тип интерфейса маршрутизатора или коммутатора, подключаемого к каналу E1. Американский вариант интерфейса носит название T1.

Как американский, так и международный варианты технологии PDH обладают несколькими недостатками.

Одним из основных недостатков является сложность операций мультиплексирования и демultipлексирования пользовательских данных. Сам термин «плезиохронный», используемый для этой технологии, говорит о причине такого явления — отсутствии полной синхронности потоков данных при объединении низкоскоростных каналов в более высокоскоростные. Изначально асинхронный подход к передаче кадров породил вставку бита или нескольких бит синхронизации между кадрами. В результате для извлечения пользовательских данных из объединенного канала необходимо полностью демultipлексировать кадры этого объединенного канала. Например, если требуется получить данные одного абонентского канала 64 Кбит/с из кадров канала T3, необходимо произвести демultipлексирование этих кадров до уровня кадров T2, затем — до уровня кадров T1, а затем демultipлексировать и сами кадры T1. Для преодоления этого недостатка в сетях PDH реализуют некоторые дополнительные приемы, уменьшающие количество операций

демультиплексирования при извлечения пользовательских данных из высокоскоростных каналов. Например, одним из таких приемов является «обратная доставка» (back hauling). Пусть коммутатор 1 канала ТЗ принимает поток данных, состоящий из 672 пользовательских каналов, при этом он должен передать данные одного из этих каналов пользователю, подключенному к низкоскоростному выходу коммутатора, а весь остальной поток данных направить транзитом через другие коммутаторы в некоторый конечный демультиплексор 2, где поток ТЗ полностью демультиплексируется на каналы 64 Кбит/с. Для экономии коммутатор 1 не выполняет операцию демультиплексирования своего потока, а получает данные своего пользователя только при их «обратном проходе», когда конечный демультиплексор выполнит операцию разбора кадров и вернет данные одного из каналов коммутатору 1. Естественно, такие сложные взаимоотношения коммутаторов усложняют работу сети, требуют ее тонкого конфигурирования, что ведет к большому объему ручной работы и ошибкам.

Другим существенным недостатком технологии PDH является отсутствие развитых встроенных процедур контроля и управления сетью. Служебные биты дают мало информации о состоянии канала, не позволяют его конфигурировать и т. п. Нет в технологии и процедур поддержки отказоустойчивости, которые очень полезны для первичных сетей, на основе которых строятся ответственные междугородные и международные сети. В современных сетях управлению уделяется большое внимание, причем считается, что управляющие процедуры желательно встраивать в основной протокол передачи данных сети.

Третий недостаток состоит в слишком низких по современным понятиям скоростях иерархии PDH. Волоконно-оптические кабели позволяют передавать данные со скоростями в несколько гигабит в секунду по одному волокну, что обеспечивает консолидацию в одном кабеле десятков тысяч пользовательских каналов, но это свойство технология PDH не реализует — ее иерархия скоростей заканчивается уровнем 139 Мбит/с.

Все эти недостатки устранены в более поздней технологии первичных цифровых сетей, получившей название синхронной цифровой иерархии — Synchronous Digital Hierarchy, SDH.

Технология синхронной цифровой иерархии SONET/SDH

Технология синхронной цифровой иерархии первоначально была разработана компанией Bellcore под названием «Синхронные оптические сети» — Synchronous Optical NETs, SONET. Первый вариант стандарта появился в 1984 году. Затем эта технология была стандартизована комитетом T1 ANSI. Международная стандартизация технологии проходила под эгидой Европейского института телекоммуникационных стандартов (ETSI) и CCITT совместно с ANSI и ведущими телекоммуникационными компаниями Америки, Европы и Японии. Основной целью разработчиков международного стандарта было создание такой технологии, которая позволяла бы передавать трафик всех существующих цифровых каналов (как американских T1 - T3, так и европейских E1 - E3) в рамках высокоскоростной магистральной сети на волоконно-оптических кабелях и обеспечила бы иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH, до скорости в несколько десятков гигабит в секунду.

В результате длительной работы удалось разработать международный стандарт Synchronous Digital Hierarchy, SDH (спецификации G.707-G.709), а также доработать стандарты SONET таким образом, что аппаратура и стеки SDH и SONET стали совместимыми и могли мультиплексировать входные потоки практически любого стандарта. В терминологии и начальной скорости технологии SDH и SONET остались расхождения, но это не мешает совместимости аппаратуры разных производителей, а технология SONET/SDH фактически стала считаться единой технологией. В России применяются стандарты и адаптированная терминология SDH.

Иерархия скоростей при обмене данными между аппаратурой SONET/SDH, которую поддерживает технология SONET/SDH, представлена в табл. 9.2.

Таблица 9.2. Скорости мультиплексирования SONET и SDH

SONET		SDH	Скорость передачи данных, Мбит/с		
Электрические	Оптические	Оптические	Общая	SPE	Пользователя
STS-1	OC-1		51,84	50,112	49,536
STS-3	OC-3	STM-1	155,52	150,336	148,608
STS-9	OC-9	STM-3	466,56	451,008	445,824
STS-12	OC-12	STM-4	622,08	601,344	594,432
STS-18	OC-18	STM-6	933,12	902,016	891,648
STS-24	OC-24	STM-8	1244,16	1202,688	1188,864
STS-36	OC-36	STM-12	1866,24	1804,032	1783,296
STS-48	OC-48	STM-16	2488,32	2405,376	2377,728
STS-192	OC-192	STM-64	9953,28	9621,504	9510,912
STS-768	OC-768	STM-256	39813,12	38486,016	38043,648

В стандарте SDH все уровни скоростей (и, соответственно, форматы кадров для этих уровней) имеют общее название: STM-n — Synchronous Transport Module level n. В технологии SONET существуют два обозначения для уровней скоростей: STS-n — Synchronous Transport Signal level n, употребляемое при передаче данных электрическим сигналом, и OC-n — Optical Carrier level n, употребляемое при передаче данных световым лучом по волоконно-оптическому кабелю. Форматы кадров STS и OC идентичны.

Как видно из таблицы, стандарт SONET начинается со скорости 51,84 Мбит/с, а стандарт SDH — со скорости 155,52 Мбит/с, равной утроенной начальной скорости SONET. Международный стандарт определил начальную скорость иерархии в 155,52 Мбит/с, чтобы сохранялась стройность и преемственность технологии SDH с технологией PDH — в этом случае канал SDH может передавать данные уровня DS-4, скорость которых равна 139,264 Мбит/с. Любая скорость технологии SONET/SDH кратна скорости STS-1. Некоторая избыточность скорости 155,52 Мбит/с для передачи данных уровня DS-4 объясняется большими накладными расходами на служебные заголовки кадров SONET/SDH. Если какой-нибудь из данных носителей не является мультиплексным, а переносит данные от одного источника, то к его названию добавляется латинская буква c, означающая concatenated (объединенный). Таким образом, OC-3 означает 155,52-мегабитный носитель, состоящий из трех отдельных носителей OC-1, а OC-3c означает передачу потока данных от одного источника со скоростью 155,52 Мбит/с.

Кадры данных технологий SONET и SDH, называемые также циклами, по форматам совпадают, естественно начиная с общего уровня STS-3/STM-1. Эти кадры обладают весьма большой избыточностью, так как передают большое количество служебной информации, которая нужна для:

- обеспечения гибкой схемы мультиплексирования потоков данных разных скоростей, позволяющих вставлять (add) и извлекать (drop) пользовательскую информацию любого уровня скорости, не демultiplexируя весь поток;
- обеспечения отказоустойчивости сети;
- поддержки операций контроля и управления на уровне протокола сети;
- синхронизации кадров в случае небольшого отклонения частот двух сопрягаемых сетей.

Стек протоколов и основные структурные элементы сети SONET/SDH показаны на рис. 9.2.

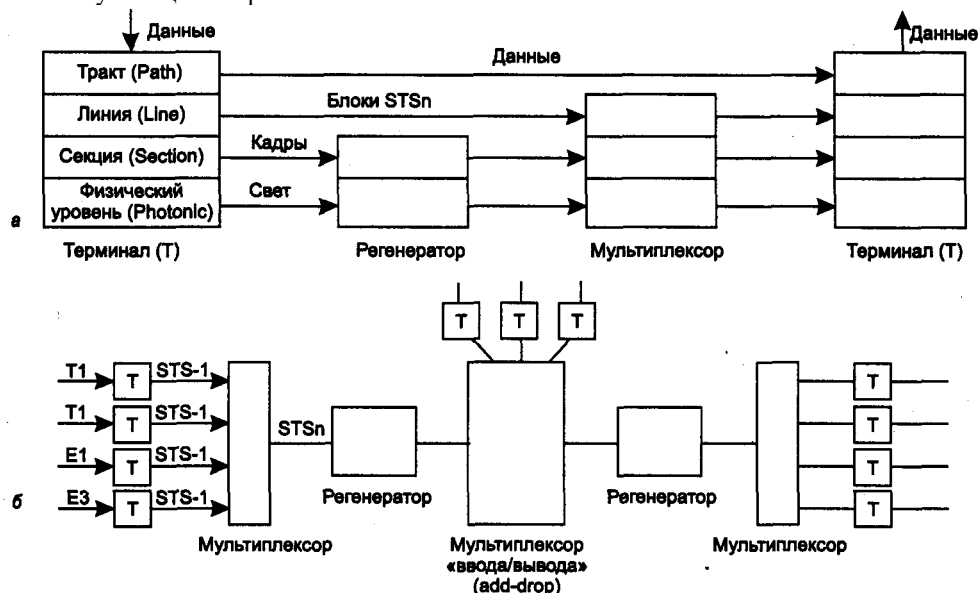


Рисунок 9.2. Стек протоколов и структура сети SONET/SDH

Ниже перечислены устройства, которые могут входить в сеть технологии SONET/SDH.

- *Терминальные устройства (Terminal, T)*, называемые также сервисными адаптерами (Service Adapter, SA), принимают пользовательские данные от низкоскоростных каналов (например T1/E1 или T3/E3) и преобразуют их в кадры STS-n. (Далее аббревиатура STS-n используется как общее обозначение для кадров SONET/SDH.)

- *Мультиплексоры (Multiplexers)* принимают данные от терминальных устройств и мультиплексируют потоки кадров разных скоростей STS-n в кадры более высокой иерархии STS-m.

- *Мультиплексоры «ввода-вывода» (Add-Drop Multiplexers)* могут принимать и передавать транзитом поток определенной скорости STS-n, вставляя или удаляя «на ходу», без полного демultipлексирования, пользовательские данные, принимаемые с низкоскоростных входов.

- *Цифровые кросс-коннекторы (Digital Cross-Connect, DCC)*, называемые также аппаратурой оперативного переключения (АОП), предназначены для мультиплексирования и постоянной коммутации высокоскоростных потоков STS-n различного уровня между собой (на рис. 9.2 не показаны). Кросс-коннектор представляет собой разновидность мультиплексора, основное назначение которого — коммутация высокоскоростных потоков данных, возможно, разной скорости. Кросс-коннекторы образуют магистраль сети SONET/SDH.

- *Регенераторы сигналов*, используемые для восстановления мощности и формы сигналов, прошедших значительное расстояние по кабелю.

На практике иногда сложно провести четкую грань между описанными устройствами, так как многие производители выпускают многофункциональные устройства, которые включают терминальные модули, модули «ввода-вывода», а также модули кросс-коннекторов.

Стек протоколов состоит из протоколов 4-х уровней:

- *Физический уровень*, названный в стандарте *фотонным (Photonic)*, имеет дело с кодированием бит информации с помощью модуляции света. Для кодирования сигнала применяется метод NRZ (благодаря внешней тактовой частоте его плохие самосинхронизирующие свойства недостатком не являются).

- *Уровень секции (Section)* поддерживает физическую целостность сети. Секцией в технологии называется каждый непрерывный отрезок волоконно-оптического кабеля, который соединяет пару устройств SONET/SDH между собой, например мультиплексор и регенератор. Протокол секции имеет дело с кадрами и на основе служебной информации кадра может проводить тестирование секции и поддерживать операции административного контроля. В заголовке протокола секции имеются байты, образующие звуковой канал 64 Кбит/с, а также канал передачи данных управления сетью со скоростью 192 Кбит/с. Заголовок секции всегда начинается с двух байт 11110110 00101000, которые являются флагами начала кадра.

Следующий байт определяет уровень кадра: STS-1, STS-2 и т. д. За каждым типом кадра закреплен определенный идентификатор.

- *Уровень линии (Line)* отвечает за передачу данных между двумя мультиплексорами сети. Протокол этого уровня работает с кадрами разных уровней STS-n для выполнения различных операций мультиплексирования и демультиплексирования, а также вставки и удаления пользовательских данных. Таким образом, линией называется поток кадров одного уровня между двумя мультиплексорами. Протокол линии также ответственен за проведение операций реконфигурирования линии в случае отказа какого-либо ее элемента — оптического волокна, порта или соседнего мультиплексора.

- *Уровень тракта (Path)* отвечает за доставку данных между двумя конечными пользователями сети. Тракт (путь) — это составное виртуальное соединение между пользователями. Протокол тракта должен принять данные, поступающие в пользовательском формате, например формате T1, и преобразовать их в синхронные кадры STS-n/STM-m.

Как видно из рис. 9.1, регенераторы работают только с протоколами двух нижних уровней, отвечая за качество сигнала и поддержание операций тестирования и управления сетью. Мультиплексоры работают с протоколами трех нижних уровней, выполняя, кроме функций регенерации сигнала и реконфигурации секций, функцию мультиплексирования кадров STS-n разных уровней. Кросс-коннектор представляет собой пример мультиплексора, который поддерживает протоколы трех уровней. И наконец, функции всех четырех уровней выполняют терминалы, а также мультиплексоры «ввода-вывода», то есть устройства, работающие с пользовательскими потоками данных.

Обычный кадр SONET представляет собой блок из 810 байт, выдаваемых каждые 125 мкс. Поскольку SONET является синхронной системой, кадры выдаются независимо от наличия какой-либо полезной информации, которую необходимо переслать. Скорость 8000 кадров в секунду очень точно соответствует частоте дискретизации каналов PCM, используемых в телефонии.

Проще всего описать кадр SONET из 810 байт в виде прямоугольника из 9 рядов по 90 колонок. Тогда очевидно, что $8 \times 810 = 6480$ бит передаются 8000 раз в секунду, что дает скорость передачи 51,84 Мбит/с. Это основной канал SONET, называющийся STS-1. Формат кадра STS-1 представлен на рис. 9.3. Такое представление хорошо отражает структуру кадра со своего рода подкадрами, называемыми виртуальными контейнерами (Virtual Container, VC — термин SDH) или виртуальными притоками (Virtual Tributaries, VT — термин SONET). Виртуальные контейнеры — это подкадры, которые переносят потоки данных, скорости которых ниже, чем начальная скорость технологии SONET/SDH в 51,84 Мбит/с (например, поток данных T1 со скоростью 1,544 Мбит/с).

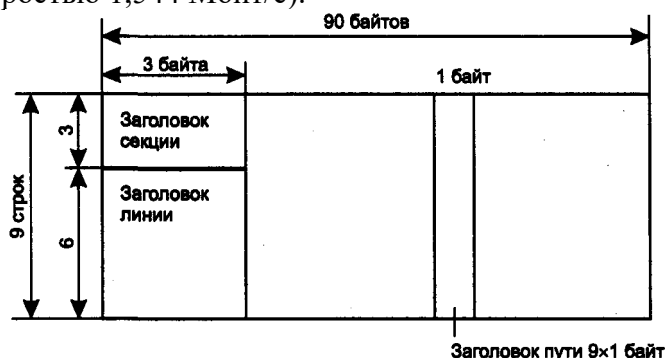


Рисунок 9.3. Формат кадра STS-1

Между устройствами сети кадр передается последовательно по байтам — сначала первая строка слева направо, затем вторая и т. д. Первые 3 байта каждой строки представляют собой служебные заголовки. Первые 3 строки представляют собой заголовок из 9 байт протокола уровня секции и содержат данные, необходимые для контроля и реконфигурации секции. Остальные 6 строк составляют заголовок протокола линии, который используется для реконфигурации, контроля и управления линией. Устройства сети SONET/SDH, которые работают с кадрами, имеют достаточный буфер для размещения в нем всех байт кадра, протекающих синхронно через устройство, поэтому устройство для анализа информации на

некоторое время имеет полный доступ ко всем частям кадра. Таким образом, размещение служебной информации в несмежных байтах не представляет сложности для обработки кадра.

Еще один столбец представляет собой заголовок протокола пути. Он используется для указания местоположения виртуальных контейнеров внутри кадра, если кадр переносит низкоскоростные данные пользовательских каналов. Местоположение виртуальных контейнеров задается не жестко, а с помощью системы указателей (pointers).

Концепция указателей является ключевой в технологии SONET/SDH. Указатель призван обеспечить синхронную передачу кадров с асинхронным характером вставляемых и удаляемых пользовательских данных.

Указатели используются на разных уровнях. Рассмотрим, как с помощью указателя выполняется выделение поля данных кадра из синхронного потока байт. Несмотря на питание всех устройств сети SONET/SDH тактовой частотой синхронизации из одного центрального источника, синхронизация между различными сетями может незначительно нарушаться. Для компенсации этого эффекта началу поля данных кадра (называемого в стандарте SPE — Synchronous Payload Environment) разрешается смещаться относительно начала кадра произвольным образом. Реальное начало поля SPE задается указателем H1, размещенным в заголовке протокола линии. В результате поле данных может размещаться в двух последовательных кадрах, как это показано на рис. 9.4.

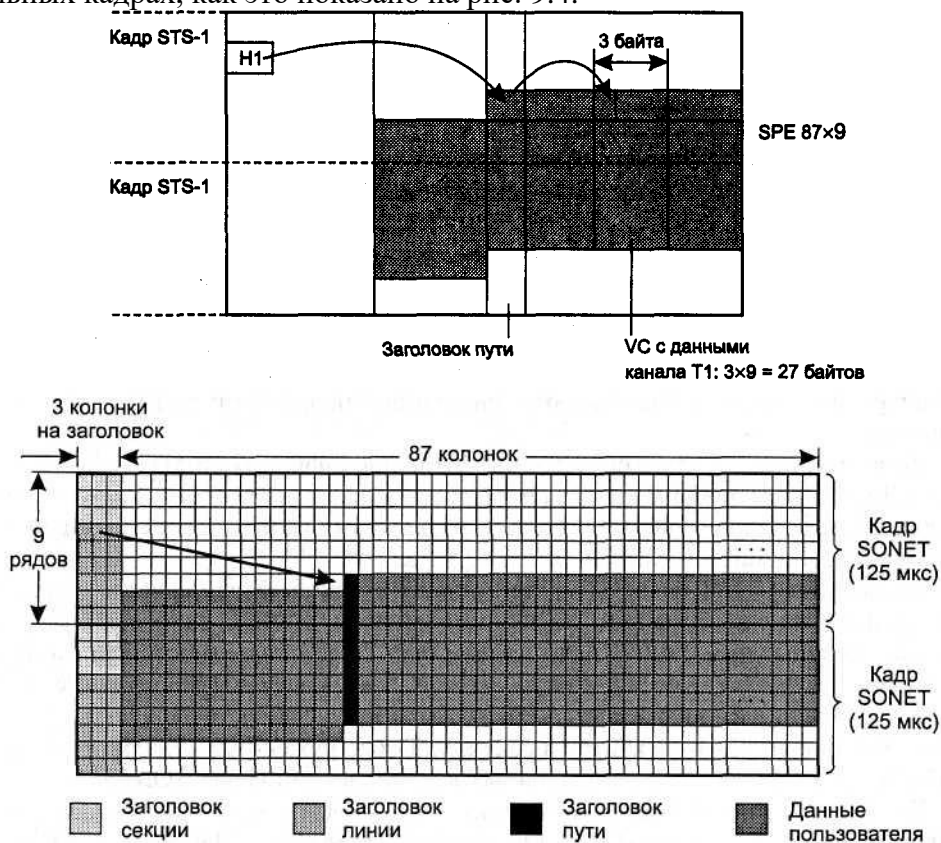


Рис. 9.4. Использование указателей для поиска данных в кадре

Тот же прием применяется для вставки или удаления пользовательских данных в поток кадров STS-n. Пользовательские данные каналов типа T1/E1 или T3/E3 асинхронны по отношению к потоку байтов кадра STS-n. Мультиплексор формирует виртуальный контейнер и, пользуясь указателем H1, находит начало очередного поля данных. Затем мультиплексор анализирует заголовок пути и находит в нем указатель H4, который описывает структуру содержащихся в кадре виртуальных контейнеров. Обнаружив свободный виртуальный контейнер нужного формата, например для 24 байт канала T1, он вставляет эти байты в нужное место поля данных кадра STS-1. Аналогично производится поиск начала данных этого канала при выполнении операции удаления пользовательских данных.

Таким образом, кадры STS-n всегда образуют синхронный поток, но с помощью изменения значения соответствующего указателя можно вставить и извлечь из этого потока

байты низкоскоростного канала, не выполняя полного демультиплексирования высокоскоростного канала.

Виртуальные контейнеры также содержат дополнительную служебную информацию по отношению к данным пользовательского канала, который они переносят. Поэтому виртуальный контейнер для переноса данных, например, канала T1 требует скорости передачи данных не 1,544 Мбит/с, а 1,728 Мбит/с.

В технологии SONET/SDH существует гибкая, но достаточно сложная схема использования поля данных кадров STS-n. Сложность этой схемы в том, что нужно «уложить» в кадр наиболее рациональным способом мозаику из виртуальных контейнеров разного уровня. Поэтому в технологии SONET/SDH стандартизовано шесть типов виртуальных контейнеров, которые хорошо сочетаются друг с другом при образовании кадра STS-n. Существует ряд правил, по которым контейнеры каждого вида могут образовывать группы контейнеров, а также входить в состав контейнеров более высокого уровня.

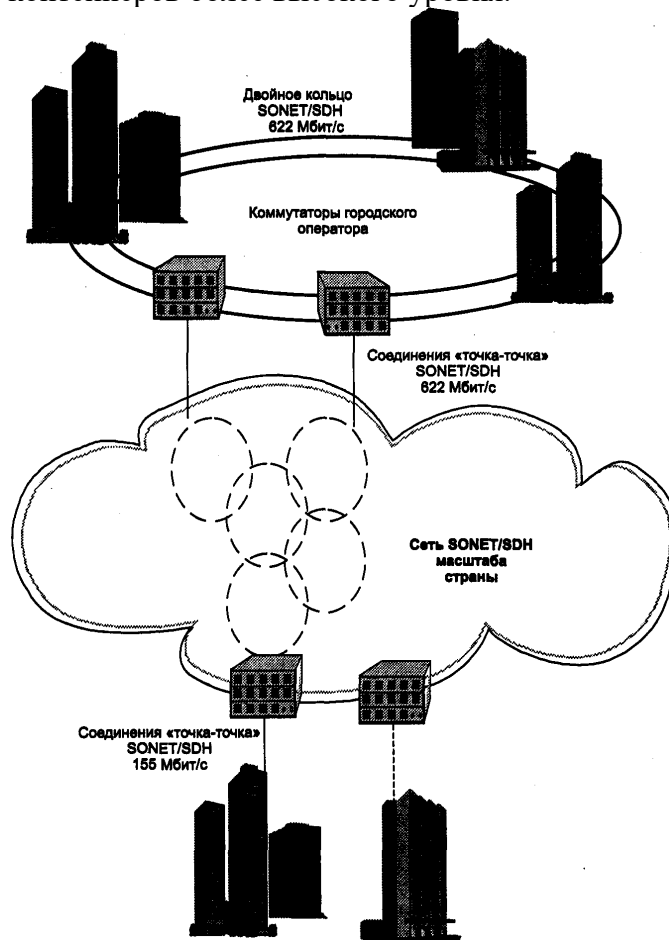


Рис. 9.5. Использование двойных колец для обеспечения отказоустойчивости сети SONET/SDH

Отказоустойчивость сети SONET/SDH встроена в ее основные протоколы. Этот механизм называется автоматическим защитным переключением — Automatic Protection Switching, APS. Существуют два способа его работы. В первом способе защита осуществляется по схеме 1:1. Для каждого рабочего волокна (и обслуживающего его порта) назначается резервное волокно. Во втором способе, называемом 1:n, для защиты n волокон назначается только одно защитное волокно.

В схеме защиты 1:1 данные передаются как по рабочему, так и по резервному волокну. При выявлении ошибок принимающий мультиплексор сообщает передающему, какое волокно должно быть рабочим. Обычно при защите 1:1 используется схема двух колец, похожая на двойные кольца FDDI (рис. 9.5), но только с одновременной передачей данных в противоположных направлениях. При обрыве кабеля между двумя мультиплексорами происходит сворачивание колец, и, как и в сетях FDDI, из двух колец образуется одно рабочее.

Применение схемы резервирования 1:1 не обязательно требует кольцевого соединения мультиплексоров, можно применять эту схему и при радиальном подключении устройств, но

кольцевые структуры решают проблемы отказоустойчивости эффективнее — если в сети нет колец, радиальная схема не сможет ничего сделать при обрыве кабеля между устройствами.

Управление, конфигурирование и администрирование сети SONET/SDH также встроено в протоколы. Служебная информация позволяет централизованно и дистанционно конфигурировать пути между конечными пользователями сети, изменять режим коммутации потоков в кросс-коннекторах, а также собирать подробную статистику о работе сети. Существуют системы управления сетями SDH, позволяющие прокладывать новые каналы простым перемещением мыши по графической схеме сети.

Применение цифровых первичных сетей

Сети SDH широко используются для построения как публичных, так и корпоративных сетей. Особенно популярны их услуги у крупных корпоративных сетей, построенных на базе выделенных цифровых каналов. Эти каналы непосредственно соединяют маршрутизаторы, размещаемые на границе локальных сетей отделений корпорации.

При аренде выделенного канала сетевой интегратор всегда уверен, что между локальными сетями существует канал вполне определенной пропускной способности. Это положительная черта аренды выделенных каналов. Однако при относительно небольшом количестве объединяемых локальных сетей пропускная способность выделенных каналов никогда не используется на 100 %, и это недостаток монопольного владения каналом — предприятие всегда платит не за реальную пропускную способность.

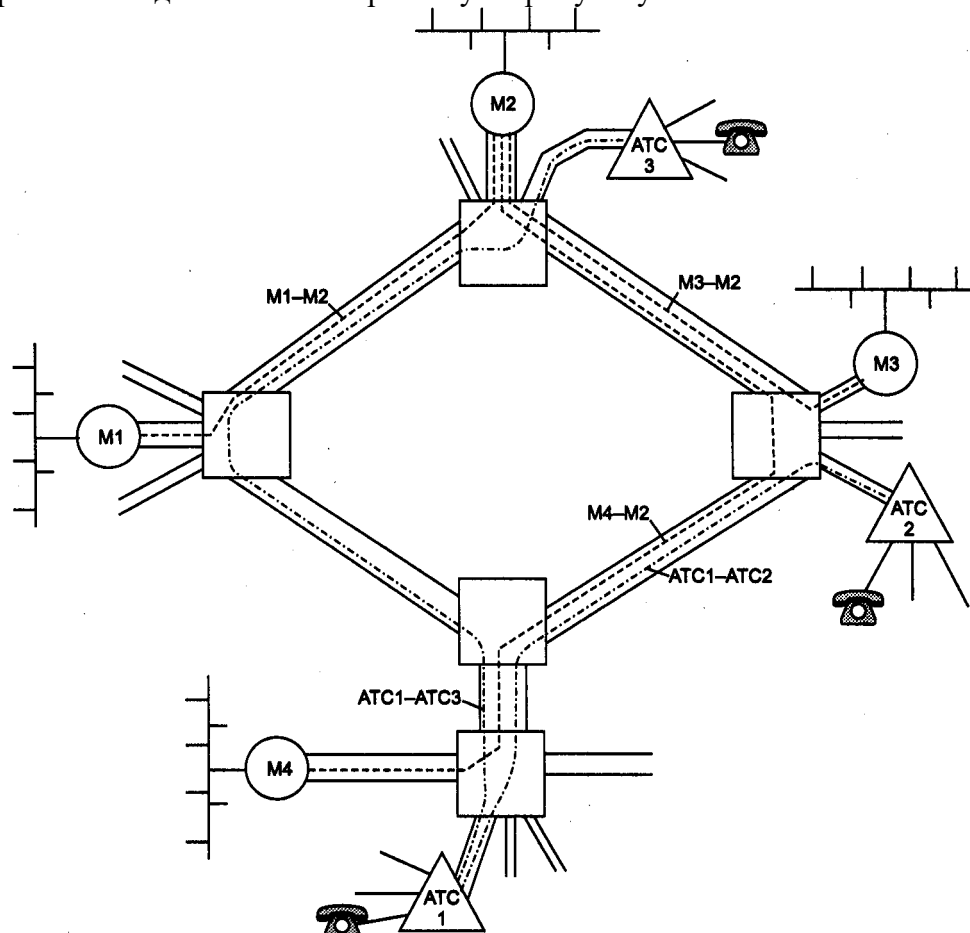


Рисунок 9.6. Использование цифровой первичной сети для организации двух наложенных сетей — компьютерной и телефонной

Телефонные коммутаторы также могут использовать технологию цифровой иерархии, поэтому построение телефонной сети с помощью каналов PDH или SONET/SDH не представляет труда. На рис. 9.6. показан пример сосуществования двух сетей — компьютерной и телефонной — на основе выделенных каналов одной и той же первичной цифровой сети.

Технология SONET/SDH очень экономично решает задачу мультиплексирования и коммутации потоков различной скорости, поэтому, сегодня она является достаточно распространенной технологией создания первичных сетей.

Примером первых российских сетей SDH могут служить сети «Макомнет», «Метроком» и «Раском». Телекоммуникационная компания «Макомнет» основана в 1991 году, когда было образовано совместное предприятие, учредителями которого выступили Московский метрополитен и компания Andrew Corporation. Транспортной средой сети стали одномодовые 32-, 16- и 8-жильные волоконно-оптические кабели фирмы Pirelli, проложенные в туннелях метрополитена. За 23 года общая протяженность проложенного волоконно-оптического кабеля сети "Макомнет" составила 4050 километров. Офисы заказчиков связываются с сетью "Макомнет" 4120 линий "последней мили". Заказчикам предоставляется весь спектр современных телекоммуникационных услуг, включая телефонные услуги, гарантированный доступ в Интернет, услуги доступа к электронным торговым и информационным системам, построение корпоративных и технологических сетей связи.

Высокое качество и уровень сервиса "Макомнет" по достоинству оценен его многочисленными Заказчиками, среди которых крупные операторы связи, провайдеры интернет, телефонные компании, банки, гостиничные и выставочные комплексы, посольства, самые известные торговые фирмы, государственные учреждения, учебные заведения, промышленные предприятия и научно-исследовательские институты, средства массовой информации. Ежедневно около 9 миллионов жителей и гостей города Москвы пользуются услугами Московского Метрополитена, турникеты станций которого связаны с Центром управления и расчетов через сеть ЗАО "Макомнет". Владельцы мобильных телефонов могут пользоваться услугами сотовой связи на станциях Метро благодаря каналам связи компании "Макомнет".

Устройства DSU/CSU для подключения к цифровому выделенному каналу

Связь компьютера или маршрутизатора с цифровой выделенной линией осуществляется с помощью пары устройств, обычно выполненных в одном корпусе или же совмещенных с маршрутизатором. Этими устройствами являются: *устройство обслуживания данных* (УОД) и *устройство обслуживания канала* (УОК). В англоязычной литературе эти устройства называются соответственно Data Service Unit (DSU) и Channel Service Unit (CSU). DSU преобразует сигналы, поступающие от DTE (например по интерфейсу RS-232C, RS-449 или V.35). DSU выполняет всю синхронизацию, формирует кадры цифровых каналов (например T1/E1), усиливает сигнал и осуществляет выравнивание загрузки канала. CSU выполняет более узкие функции, в основном это устройство занимается созданием оптимальных условий передачи в линии. Эти устройства, как и модуляторы-демодуляторы, часто обозначаются одним словом DSU/CSU (рис. 9.7).

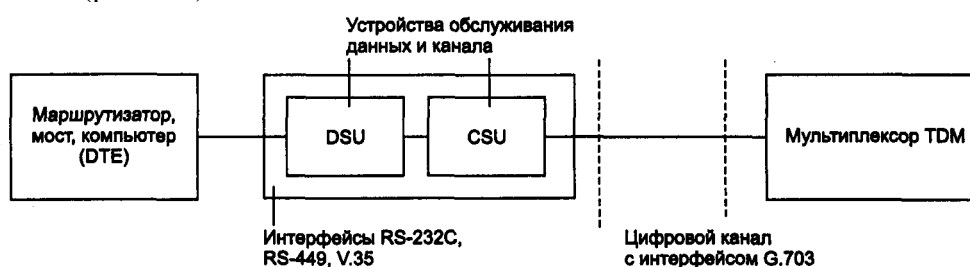


Рис. 9.7. Использование DSU/CSU для подключения к цифровой выделенной линии

Нередко под устройством DSU/CSU понимают более сложные устройства, которые кроме согласования интерфейсов выполняют функции мультиплексора.

9.3. Протоколы канального уровня для выделенных линий

Выделенные каналы используются для прямой связи между собой локальных сетей или отдельных компьютеров. Для маршрутизатора или моста выделенная линия предоставляет чаще всего либо канал с известной полосой пропускания, как в случае выделенных аналоговых линий, либо канал с известным протоколом физического уровня, как в случае цифровых выделенных каналов. Правда, так как аналоговый канал требует модема для передачи данных, протокол физического уровня также определен для этой линии — это протокол модема. Поэтому для передачи данных между маршрутизаторами, мостами или отдельными

компьютерами с помощью выделенного канала необходимо решить, какие протоколы уровней выше физического необходимы для передачи сообщений с нужной степенью надежности и с возможностями управления потоком кадров для предотвращения переполнения соседних узлов.

Если выделенный канал соединяет сети через маршрутизаторы, то протокол сетевого уровня определен, а протокол канального уровня маршрутизатор может использовать любой, в том числе и протокол канального уровня локальной сети, например Ethernet.

Однако маршрутизаторы на выделенных каналах с протоколами канального уровня локальных сетей чаще всего не работают. Они, с одной стороны, избыточны, а с другой стороны, в них отсутствуют некоторые необходимые процедуры, очень полезные при объединении сетей по глобальному выделенному каналу.

Избыточность проявляется в процедурах получения доступа к разделяемой среде, так как выделенная линия постоянно находится в распоряжении соединяющихся с ее помощью конечных узлов, и процедура получения доступа к ней не имеет смысла. Среди отсутствующих процедур можно назвать процедуру управления потоком данных, процедуру взаимной аутентификации удаленных устройств, что часто необходимо для защиты сети от «подставного» маршрутизатора или моста, отводящего корпоративный трафик не по назначению. Кроме того, существует ряд параметров, которые полезно автоматически согласовывать при удаленном взаимодействии, — например, максимальный размер поля данных (MTU), IP-адрес партнера (как для безопасности, так и для автоматического конфигурирования стека TCP/IP на удаленных одиночных компьютерах).

Протокол SLIP

Протокол SLIP (Serial Line IP) был первым стандартом де-факто, позволяющим устройствам, соединенным последовательной линией связи, работать по протоколам TCP/IP. В 1984 году он был встроен Риком Адамсом (Rick Adams) в операционную систему 4.2 BSD Unix. Позднее SLIP был поддержан в других версиях Unix и реализован в программном обеспечении для ПК.

Правда, ввиду его функциональной простоты, SLIP использовался в основном на коммутируемых линиях связи.

Протокол SLIP выполняет единственную функцию — он позволяет в потоке бит, которые поступают по выделенному (или коммутируемому) каналу, распознать начало и конец IP-пакета. Помимо протокола IP, другие протоколы сетевого уровня SLIP не поддерживает.

Чтобы распознать границы IP-пакетов, протокол SLIP предусматривает использование специального символа END, значение которого в шестнадцатеричном представлении равно C0. Применение специального символа может породить конфликт: если байт пересылаемых данных тождественен символу END, то он будет ошибочно определен как признак конца пакета. Чтобы предотвратить такую ситуацию, байт данных со значением, равным значению символа END, заменяется составной двухбайтовой последовательностью, состоящей из специального символа ESC (DB) и кода DC. Если же байт данных имеет тот же код, что и символ SLIP ESC, то он заменяется двухбайтовой последовательностью, состоящей из собственно символа SLIP ESC и кода DD. После последнего байта пакета передается символ END.

Механизм формирования составных последовательностей показан на рис. 9.8. Здесь приведены стандартный IP-пакет (один байт которого тождественен символу END, а другой — символу SLIP ESC) и соответствующий ему SLIP-пакет, который больше на 4 байта.

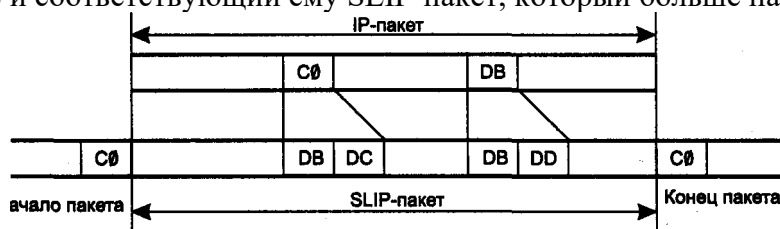


Рис. 9.8. Инкапсуляция IP-пакетов в SLIP-пакеты

Хотя в спецификации протокола SLIP не определена максимальная длина передаваемого пакета, реальный размер IP-пакета не должен превышать 1006 байт. Данное ограничение связано с первой реализацией протокола SLIP в соответствующем драйвере для Berkley Unix, и

его соблюдение необходимо для поддержки совместимости разных реализации SLIP (большинство современных реализации позволяют администратору самому установить размер пакета, а по умолчанию используют размер 1500 байт).

Для установления связи по протоколу SLIP компьютеры должны иметь информацию об IP-адресах друг друга. Однако возможна ситуация, когда, скажем, при осуществлении соединения между хостом и маршрутизатором последнему понадобится передать хосту информацию о его IP-адресе. В протоколе SLIP нет механизмов, дающих возможность обмениваться адресной информацией. Это ограничение не позволяло использовать SLIP для некоторых видов сетевых служб.

Другой недостаток SLIP — отсутствие индикации типа протокола, пакет которого инкапсулируется в SLIP-пакет. Поэтому через последовательную линию по протоколу SLIP можно передавать трафик лишь одного сетевого протокола — IP.

Повышение пропускной способности линий связи возможно за счет уменьшения объема передаваемой служебной информации. Эта задача решалась с помощью протокола Compressed SLIP (CSLIP), поддерживающего сжатие заголовков пакетов. Появление CSLIP объясняется тем фактом, что при использовании программ типа Telnet, Rlogin и других для пересылки одного байта данных требуется переслать 20-байтовый заголовок IP-пакета и 20-байтовый заголовок TCP-пакета (итого 40 байт). Спецификация CSLIP обеспечивает сжатие 40-байтового заголовка до 3-5 байт.

Таким образом, протокол SLIP выполняет работу по выделению из последовательности передаваемых по последовательному каналу бит границ IP-пакета. Протокол не имеет механизмов передачи адресной информации, идентификации типа протокола сетевого уровня, определения и коррекции ошибок.

Протоколы семейства HDLC

Долгое время основным протоколом выделенных линий был протокол HDLC (High-level Data Link Control), имеющий статус стандарта ISO. Протокол HDLC на самом деле представляет собой семейство протоколов, в которое входят известные протоколы: LAP-B, образующий канальный уровень сетей X.25, LAP-D — канальный уровень сетей ISDN, LAP-M — канальный уровень асинхронно-синхронных модемов, LAP-F — канальный уровень сетей frame relay.

Основные принципы работы протокола HDLC: режим логического соединения, контроль искаженных и потерянных кадров с помощью метода скользящего окна, управление потоком кадров с помощью команд RNR и RR, а также различные типы кадров этого протокола были уже рассмотрены в курсе ТЛВС при изучении еще одного представителя семейства HDLC — протокола LLC2.

Дело в том, что одна из основных функций протокола HDLC — это восстановление искаженных и утерянных кадров. Действительно, применение протокола HDLC обеспечивает снижение вероятности искажения бита (BER) с 10^{-3} , что характерно для аналоговых каналов, до 10^{-9} .

Однако с переходом на цифровые каналы, которые и без внешних процедур восстановления кадров обладают высоким качеством (величина BER составляет 10^{-8} - 10^{-9}), восстановительные функции протокола HDLC стали не нужны. Протокол HDLC на выделенных каналах со временем вытеснил протокол «точка-точка», Point-to-Point Protocol, PPP.

Протокол PPP

Этот протокол разработан группой IETF (Internet Engineering Task Force) как часть стека TCP/IP для замены устаревшего протокола SLIP (Serial Line IP). При разработке протокола PPP за основу был взят формат кадров HDLC и дополнен собственными полями. Поля протокола PPP вложены в поле данных кадра HDLC.

Основное отличие PPP состоит в том, что он добивается согласованной работы различных устройств с помощью переговорной процедуры, во время которой передаются различные параметры, такие как качество линии, протокол аутентификации и инкапсулируемые

протоколы сетевого уровня. Переговорная процедура происходит во время установления соединения.

Протокол PPP основан на четырех принципах: переговорное принятие параметров соединения, многопротокольная поддержка, расширяемость протокола, независимость от глобальных служб.

Переговорное принятие параметров соединения. В протоколе PPP имеется набор стандартных установок, действующих по умолчанию и учитывающих все стандартные конфигурации. При установлении соединения два взаимодействующих устройства для нахождения взаимопонимания пытаются сначала использовать эти установки. Каждый конечный узел описывает свои возможности и требования. Затем на основании этой информации принимаются параметры соединения, устраивающие обе стороны, в которые входят форматы инкапсуляции данных, размеры пакетов, качество линии и процедура аутентификации.

Протокол, в соответствии с которым принимаются параметры соединения, называется протоколом управления связью (Link Control Protocol, LCP). Протокол, который позволяет конечным узлам договориться о том, какие сетевые протоколы будут передаваться в установленном соединении, называется протоколом управления сетевым уровнем (Network Control Protocol, NCP). Внутри одного PPP-соединения могут передаваться потоки данных различных сетевых протоколов.

Одним из важных параметров PPP-соединения является режим аутентификации. Для целей аутентификации PPP предлагает по умолчанию протокол PAP (Password Authentication Protocol), передающий пароль по линии связи в открытом виде, или протокол CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol), не передающий пароль по линии связи и поэтому обеспечивающий большую безопасность сети. Пользователям также разрешается использовать другие алгоритмы аутентификации, предлагаемые например разработчиками операционных систем. Дисциплина выбора алгоритмов компрессии заголовка и данных аналогична.

Многопротокольная поддержка — способность протокола PPP поддерживать несколько протоколов сетевого уровня. Под конфигурированием понимается, во-первых, констатация того факта, что данный протокол будет использоваться в текущей сессии PPP, а во-вторых, переговорное утверждение некоторых параметров протокола. Больше всего параметров устанавливается для протокола IP — IP-адрес узла, IP-адрес серверов DNS, использование компрессии заголовка IP-пакета и т. д. Протоколы конфигурирования параметров соответствующего протокола верхнего уровня называются по имени этого протокола с добавлением аббревиатуры CP (Control Protocol), например протокол IPCP, IPXCP и т. п.

Расширяемость протокола. Под расширяемостью понимается как возможность включения новых протоколов в стек PPP, так и возможность использования собственных протоколов пользователей вместо рекомендуемых в PPP по умолчанию. Это позволяет наилучшим образом настроить PPP для каждой конкретной ситуации.

Независимость от глобальных служб. Начальная версия PPP работала только с кадрами HDLC. Позднее в стек PPP добавлены спецификации, позволяющие использовать PPP в любой технологии глобальных сетей, например ISDN, frame relay, X.25, SONET.

Хотя протокол PPP и работает с кадром HDLC, но в нем отсутствуют процедуры контроля кадров и управления потоком протокола HDLC. Поэтому в PPP используется только один тип кадра HDLC — нумерованный информационный. В поле управления такого кадра всегда содержится величина 03. Для исправления очень редких ошибок, возникающих в канале, необходимы протоколы верхних уровней (напр. TCP).

После активного перехода в настоящее время в территориальных сетях от последовательных каналов к пакетно-ориентированным сетям, чтобы организовать классическое соединение с логином и паролем для Интернет-соединений используется протокол PPPoE (RFC 2516). Это туннелирующий протокол, который позволяет настраивать IP, или другие протоколы, через Ethernet с программными возможностями PPP-соединений.

Часто PPP используется для подключения удаленных клиентов к локальной сети через сервер удаленного доступа. В настоящее время для создания туннелей через глобальные

пакетные сети используется протокол L2TP (RFC 2661) в который инкапсулируются кадры PPP, реализующие, например, удаленный доступ клиента к локальной сети.

9.4. Использование выделенных линий для построения корпоративной сети

Для связи двух локальных сетей по арендуемому или собственному выделенному каналу обычно используются маршрутизаторы. Эти устройства нужны для того, чтобы по выделенному каналу пересылались не все кадры, циркулирующие в каждой локальной сети, а только те, которые предназначены для другой локальной сети.

Схема установки маршрутизаторов в этом случае приведена на рис. 9.9. В прошлом сначала необходимо было решить проблему физического сопряжения выходного порта маршрутизатора с аппаратурой передачи данных, то есть DCE, подключаемой непосредственно к абонентскому окончанию линии. Если канал был аналоговый, то это интерфейс с модемом, а если цифровой — то с устройством DSU/CSU. Интерфейс определялся требованиями DCE — это мог быть RS-232C для низкоскоростных линий или же RS-449, V.35, HSSI для высокоскоростных каналов. В настоящее время устройства DCE выполняются в виде модулей устанавливаемых в слот расширения маршрутизатора, поэтому интерфейс DTE-DCE реализуется производителем оборудования через внутреннюю шину маршрутизатора.



Рис. 9.9. Соединение сетей с помощью выделенного канала

На рис. 9.9 выбрано в качестве примера соединение через цифровой канал, поэтому маршрутизатор использует для подключения к каналу устройство DSU/CSU с внешним интерфейсом G.703.

Маршрутизатор после подключения к выделенной линии и локальной сети необходимо конфигурировать. Конфигурирование маршрутизаторов в этом случае подобно конфигурированию в локальных сетях. Каждая локальная сеть получает свой IP-адрес с соответствующей маской. Выделенный канал также является отдельной IP-сетью, поэтому можно ему также дать некоторый IP-адрес из диапазона адресов, которым распоряжается администратор корпоративной сети (в данном случае выделенному каналу присвоен адрес сети, состоящей из 2-х узлов, что определяется маской 255.255.255.252). Можно выделенному каналу и не присваивать IP-адрес — такой интерфейс маршрутизатора называется *нумерованным* (*unnumbered*). Маршрутизатор будет нормально работать в обоих случаях. Протокол ARP на выделенном канале не используется, так как аппаратные адреса на выделенном канале не имеют практического смысла (есть два адреса — кадр от DCE или от DTE, но маршрутизатор всегда будет получать кадр от DCE).

При объединении сетей с помощью выделенного канала рекомендуется сначала выяснить характер межсетевого трафика — его среднее значение и пульсацию. Для хорошей передачи пульсаций пропускная способность канала должна быть большей или равной величине пульсаций трафика. Но такой подход приводит к очень нерациональной загрузке канала, так как при коэффициенте пульсаций 50:1 в среднем будет использоваться только 1/50 пропускной способности канала. Поэтому чаще при выборе канала ориентируются на среднее значение межсетевого трафика. Правда, при этом пульсация будет создавать очередь кадров во внутреннем буфере моста или маршрутизатора, так как канал не может передавать данные с такой высокой скоростью, но очередь обязательно рассосется за конечное время, если среднее значение интенсивности межсетевого трафика меньше средней пропускной способности канала.

Для преодоления ограничений на скорость линии, а также для уменьшения части локального трафика, передаваемого по глобальной линии, в маршрутизаторах, работающих на глобальные каналы, используются специальные приемы, отсутствующие в локальных устройствах. Эти приемы не входят в стандарты протоколов. К таким приемам относятся технологии сжатия пакетов и спуфинга.

Сжатие пакетов (компрессия). Некоторые производители, используя собственные алгоритмы, обеспечивают коэффициент сжатия до 8:1. Стандартные алгоритмы сжатия, применяемые в модемах, устройствах DSU/CSU, самих маршрутизаторах, обеспечивают коэффициент сжатия до 4:1. После сжатия данных для передачи требуется существенно меньшая скорость канала.

Спуфинг (spoofing). Эта технология позволяет повысить пропускную способность низкоскоростных линий, объединяющих локальные сети, работающие по протоколам с большим количеством широковещательных рассылок. Во многих стеках протоколов для локальных сетей широковещательные рассылки обеспечивают решение задач поиска ресурсов сети. «Спуфинг» означает надувательство, мистификацию. Главной идеей технологии спуфинга является имитация передачи пакета по глобальной сети. Спуфинг используется когда пропускная способность глобальной сети оказывается на границе некоторого минимального уровня.

По выделенной линии может проходить достаточно большое количество широковещательных пакетов, которое зависит от количества серверов в каждой из локальных сетей, а также количества служб, о которых объявляет каждый сервер. Если эти пакеты посылаются каким-либо сервером, но не доходят до клиентов, то клиенты не могут воспользоваться службами этого сервера.

Если маршрутизаторы, объединяющие сети, поддерживают технику спуфинга, то они передают по выделенному каналу не каждый широковещательный пакет, а например, только каждый пятый. Интенсивность служебного трафика в выделенном канале при этом уменьшается. Но для того, чтобы клиенты не теряли из списка ресурсов удаленной сети серверы, маршрутизатор имитирует приход этих пакетов по выделенному каналу, посылая широковещательные пакеты от своего имени. При этом маршрутизатор посылает несколько раз копию реального пакета, получаемого по выделенному каналу. Такую процедуру маршрутизатор осуществляет для каждого сервера удаленной сети, генерирующего широковещательные пакеты.

Существует достаточно много протоколов, которые пользуются широковещательными рассылками, и пограничный маршрутизатор/мост должен их все учитывать. Только ОС Unix весьма редко работает по этому способу, так как ее основной коммуникационный стек TCP/IP проектировался для низкоскоростных глобальных линий связи. MS Windows разрабатывалась в основном в расчете на локальные сети, поэтому пропускную способность каналов связи не экономили. В интерфейсе NetBIOS (а его используют в качестве программного интерфейса приложения во многих ОС от Microsoft) порождается служебный трафик разрешения имен — запросы NameQuery посылаются широковещательным способом каждые 20 минут, если зарегистрированное ранее имя не проявило себя в течение этого периода времени.