

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.С. Томашевский

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Учебное пособие

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 658.012.011.56

Томашевский А.С.

Телекоммуникационные системы и технологии: учеб. пособие / А.С. Томашевский. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 112 с.

В пособии представлены материалы по основным телекоммуникационным технологиям применяемым в современных системах и описаны принципы их работы. Пособие подготовлено на кафедре оптимизации систем управления ТПУ в качестве вспомогательного учебного материала к одноименному курсу и предназначено, главным образом, для подготовки магистров по направлению 230100 «Информатика и вычислительная техника» (Магистерская программа 230113 «Сети ЭВМ и телекоммуникации»).

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета
Томского политехнического университета

© Томский политехнический университет, 2008
© Томашевский А.С., 2008
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, КОДИРОВКА И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ	5
Передача сигналов по линиям связи	5
Влияние шумов и помех	13
Методы передачи голоса и изображения	16
Обнаружение и коррекция ошибок	17
КАНАЛЫ СВЯЗИ	23
Кабельные каналы связи	23
Оптические каналы связи	28
Структурированные кабельные сети. Стандарты, оборудование	37
Беспроводные каналы связи	40
МЕТОДЫ ДОСТУПА К ПЕРЕДАЮЩЕЙ СРЕДЕ	48
Технологии локальных сетей	48
Технологии региональных сетей	64
Протоколы сетей X.25	66
Интегрированные сети ISDN.	72
Протокол Frame Relay	75
Протоколы сетей ATM	79
Синхронные каналы SDH/SONET	83
АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА	88
Модемы	88
Повторители, мосты, коммутаторы и маршрутизаторы	94
ПРОТОКОЛ STP И РЕАЛИЗАЦИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПОДСЕТЕЙ VLAN	102
ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ	106
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	111

ВВЕДЕНИЕ

Первые компьютеры были *автономными устройствами*. Другими словами, каждый компьютер ботал отдельно, независимо от других. Очень скоро стала очевидной низкая эффективность такого подхода. Необходимо было найти решение, которое бы удовлетворяло трем перечисленным ниже требованиям, а именно:

- устраняло дублирование оборудования и ресурсов;
- обеспечивало эффективный обмен данными между устройствами;
- снимало проблему управления сетью.

Было найдено два решения, выполняющих поставленные условия. И это были локальные и глобальные сети. *Локальные сети* служат для объединения рабочих станций, периферии, терминалов и других устройств, что позволяет повысить эффективность работы компьютеров за счет совместного использования ими ресурсов и дает возможность использовать локальную сеть для связи воедино данных, функций обмена и вычислений, а также хранения информации на файл-серверах.

Быстрое распространение компьютеров привело к увеличению числа локальных сетей. В то же время каждая локальная сеть – это отдельный электронный остров, не имеющий связи с другими себе подобными. Стало очевидным, что использования технологии локальных сетей уже недостаточно. Требовалось найти способ передачи информации от одной локальной сети к другой. Решить эту задачу помогло создание *глобальных сетей*. Глобальные сети служат для объединения локальных сетей и обеспечивают связь между компьютерами, находящимися в локальных сетях. Глобальные сети охватывают значительные географические пространства и дают возможность связать устройства, расположенные на большом удалении друг от друга.

Современные сети Интернет объединяют в единое целое многие сотни тысяч локальных сетей по всему миру, построенных на базе самых разных физических и логических протоколов (ethernet, Token Ring, ISDN, X.25, Frame Relay, Arcnet и т. д.).

Что явилось причиной стремительного роста сети Интернет? Создатели базовых протоколов (TCP/IP) заложили в них несколько простых и эффективных принципов: инкапсуляцию, фрагментацию / дефрагментацию и динамическую маршрутизацию. Именно эти идеи позволили объединить сети, базирующиеся на самых разных операционных системах и оборудовании и сделать сеть нечувствительной к локальным отказам аппаратуры.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, КОДИРОВКА И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ

Передача сигналов по линиям связи

Информация передается в виде сообщений от некоторого источника информации к ее приемнику посредством канала связи между ними. Источник посылает передаваемое сообщение, которое кодируется в передаваемый сигнал. Этот сигнал посылается по каналу связи. В результате в приемнике появляется принимаемый сигнал, который декодируется и становится принимаемым сообщением. Передача информации по каналам связи часто сопровождается воздействием помех, вызывающих искажение и потерю информации.

Канал связи

Любое событие или явление может быть выражено по-разному, разными способами, разным алфавитом. Чтобы информацию более точно и экономно передать по каналам связи, ее надо соответственно закодировать.

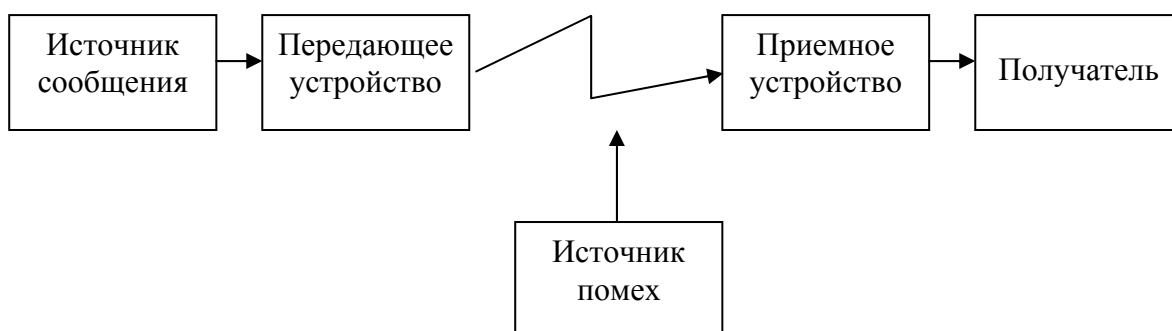


Рис. 1. Общая схема передачи информации

Информация не может существовать без материального носителя, без передачи энергии. Закодированное сообщение приобретает вид сигналов-носителей информации, которые идут по каналу. Выйдя на приемник, сигналы должны обрести вновь общепонятный вид с помощью декодирующего устройства.

Совокупность устройств, предметов или объектов, предназначенных для передачи информации от одного из них, именуемого источником, к другому, именуемому приемником, называется каналом информации, или **информационным каналом**.

Примером канала может служить почта. Информация, помещенная в этот канал, остается **неизменной**.

Другим примером может служить телефон. Такой канал называется **каналом с преобразованием информации**.

Еще один пример – компьютер. Отдельные его системы передают одна другой информацию с помощью сигналов. Компьютер – устройство для обработки информации, он не создает из «ничего» информацию, а преобразует то, что в него введено. Компьютер является информационным каналом с преобразованием информации: информация поступает с внешних устройств, преобразуется во внутренний код и обрабатывается, преобразуется в вид, пригодный для восприятия внешним выходным устройством, и передается на них.

В сетях ТКС информация передается в аналоговой форме. Это единственно возможный способ передачи информации по каналам связи. При передаче цифровых данных выполняется цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразование (ЦАП и АЦП) модемами на выходных и входных узлах связи. При восстановлении первоначального потока цифровых данных процесс АЦП включает в себя дискретизацию и квантование входного сигнала. Для безошибочной передачи цифровых данных работа принимающего модема должна быть синхронизирована с работой передающего. Для этого используются два вида передачи данных: асинхронная и синхронная.

Асинхронная передача реализуется по символю-ориентированной схеме, при которой данные передаются посимвольно. Каждая передаваемая последовательность состоит из стартового бита, за которым следуют информационные символы, и завершается стоповым битом. Асинхронный режим передачи используется для низкоскоростных устройств и устройств, у которых отсутствует буфер.

Синхронная передача применяется для высокоскоростной передачи данных. При символю-ориентированной синхронной передаче блоку передаваемых символов предшествует один или несколько синхронизирующих символов. При побитно-ориентированной синхронной передаче в передаваемый блок данных перед сообщением включается *флаг* – специальная битовая последовательность.

В зависимости от вида передачи данных используются соответственно синхронные и асинхронные модемы. Синхронная передача может проводиться только синхронными модемами, асинхронная может выполняться и с помощью синхронных модемов.

Иногда применяется гибридная схема передачи – **изохронная**. Как и при асинхронном режиме, каждый символ в ней сопровождается стартовым и стоповым битами, а работа передающего и приемного модемов синхронизируется с помощью интервалов между передаваемыми символами, кратными длительности передачи символов.

Пересылка данных в ТКС осуществляется последовательной передачей битов сообщения от источника к пункту назначения. Физически информационные биты передаются в виде модулированных или импульсно-кодовых электрических сигналов, которые зачастую называют цифровыми. *Модулированные* сигналы менее чувствительны к искажениям, обусловленным затуханием в передающей среде. *Импульсно-кодовые* сигналы могут иметь одно или конечный набор значений в пределах определенного тактового интервала. Как правило, для импульсно-кодовой передачи используется двухуровневый сигнал. Для импульсно-кодовых сигналов проще осуществляется кодирование и декодирование.

Способы цифрового кодирования данных. В современных системах передачи данных синхронизация передатчика и приемника достигается за счет использования самосинхронизирующих кодов. Каждый переход уровня сигнала от высокого к низкому уровню или наоборот используется для подстройки приемника. Лучшими считаются такие, которые обеспечивают переход уровня сигнала не менее одного раза в течение интервала времени на приеме одного информационного бита. Наиболее распространенными являются следующие коды:

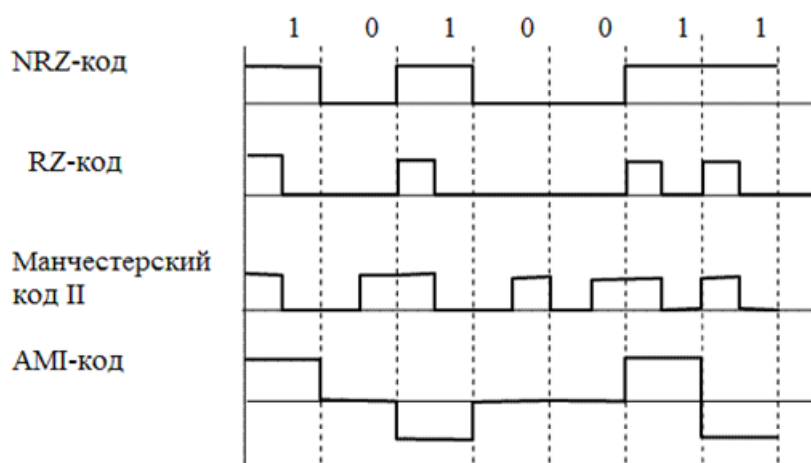


Иллюстрация самосинхронизирующих кодов.

Рис. 2

Потенциальный код без возвращения к нулю (NRZ – Non Return to Zero) – 0 и 1 кодируются различными уровнями сигнала. Это наиболее простой способ кодирования, но имеет постоянную составляющую в спектре. При передаче длинных серий одноименных битов (единиц или нулей) уровень сигнала остается неизменным для каждой серии, что существенно снижает качество синхронизации и надежность распознавания принимаемых битов.

Потенциальный код с возвращением к нулю (RZ – Return to Zero) – код, аналогичный NRZ, с возвращением к нулю на середине каждого

тактового интервала. Имеет большее число переходов уровня сигнала, чем сигнал в соответствующем коде NRZ.

Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (AMI) – 0 кодируется нулевым потенциалом, а 1 – положительным или отрицательным ненулевым, причем потенциал каждой следующей единицы противоположен по знаку предыдущей. Спектр кода не содержит постоянной составляющей. Используется три уровня сигналов, что требует увеличения мощности передатчика. Обладает хорошими синхронизирующими свойствами при передаче серий единиц и сравнительно прост в реализации. Недостатком кода является ограничение на плотность нулей в потоке данных, поскольку длинные последовательности нулей ведут к потере синхронизации.

Для улучшения кодов AMI можно применять предварительное «перемешивание» исходной информации так, чтобы в передаваемой последовательности появление нулей и единиц было равновероятно. Такой метод называется скремблированием, а выполняющие его устройства – скремблерами.

Биполярный импульсный код – кодирование производится импульсами положительной и отрицательной полярности, длительность которых равна половине длительности передачи бита. В этом коде также может присутствовать постоянная составляющая, и он имеет более широкий спектр, чем потенциальные коды (так как выше частота сигнала, передающего последовательность нулей и единиц).

Манчестерский код (PE – Phase Encode, фазовое кодирование) – наиболее популярный код, применяемый в локальных сетях. При манчестерском кодировании информация передается перепадами потенциала, происходящими в середине такта. Единица кодируется перепадом от низкого уровня к высокому, а ноль наоборот. В начале каждого такта может происходить, а может и не происходить служебный перепад (он происходит, если в предыдущем такте передаваемый бит имел то же значение, что и в текущем.). Манчестерский код обеспечивает изменение уровня сигнала при представлении каждого бита, а при передаче серий одноименных битов – двойное изменение. Обладает наилучшими синхронизирующими свойствами. Манчестерский код имеет более узкую полосу, чем биполярный импульсный и не имеет постоянной составляющей в спектре.

Аппаратура линий связи. Формирование сигналов для передачи по линии связи осуществляется аппаратурой передачи данных (Data Circuit terminating Equipment). Примерами DCE являются модемы. Подготовка данных для передачи осуществляется оконечным оборудованием данных (Data Terminal Equipment). Для усиления сигнала, проходящего через линию, а также для организации совместного использования

линий связи (мультиплексирования и коммутации) может использоваться дополнительное оборудование.

Хотя сами сигналы в линиях связи всегда являются непрерывными или кусочно-непрерывными, т. е. аналоговыми по физической форме своих материальных носителей, в зависимости от способа передачи данных линии связи делятся на цифровые и аналоговые. В цифровых линиях данные представляются сигналами, имеющими конечное число состояний, т. е. информация заключена в значениях сигнала в определенные моменты времени, причем сигнал может принимать конечное число значений. В аналоговых линиях используются сигналы с непрерывным диапазоном своих значений.

Как правило, при передаче данных в аналоговой форме сигналы имеют более узкий спектр, поэтому их используют в линиях связи с узкой полосой пропускания, например в телефонных сетях. Цифровые сигналы обеспечивают высокую скорость передачи данных, но имеют более широкий спектр.

Характеристики линий связи. Основные характеристики канала связи – пропускная способность и достоверность передачи данных. *Пропускная способность канала* (количество информации, передаваемое в единицу времени) оценивается предельным числом бит данных, передаваемых по каналу за единицу времени, и измеряется в бит/с. *Достоверность передачи данных* оценивается по *интенсивности битовых ошибок (Bit Error Rate)*, определяемой как вероятность искажения передаваемого бита данных. Величина BER для каналов связи без дополнительной защиты от ошибок составляет $10^{-4} \dots 10^{-6}$. Основная причина искажений – воздействие помех на линию связи. Помехи, как правило, носят импульсный характер и имеют тенденцию к группированию – образованию пачек помех, искажающих сразу группу соседних бит в передаваемых данных.

Пропускная способность канала связи определяется полосой частот и помехоустойчивостью канала. Полоса частот, в которой амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) линии связи имеет значение не ниже заданного (например, по уровню 0.5) называется *полосой пропускания*. Полоса частот $\Delta F = f_v - f_n$, где f_n и f_v – нижняя и верхняя границы частот, определяет диапазон частот, эффективно передаваемых по линии. Полоса частот зависит от типа линии и ее протяженности. Проводные линии связи имеют полосу частот примерно 10 кГц, кабельные – 100 кГц, коаксиальные – 100 МГц, радиорелейные – 1000 МГц, волоконно-оптические – 100 ГГц. Для передачи данных используется коротковолновая радиосвязь с диапазоном частот от 3 до 30 МГц. Для передачи данных на небольшие расстояния используются в основном низкочастотные проводные линии, на большие расстояния – высокочастотные линии: коаксиальные кабели,

волоконно-оптические и радиорелейные линии. Радиосвязь применяется для организации как местной, так и дальней связи.

Помехоустойчивость линии зависит от мощности помех, создаваемых в линии внешней средой или возникающих из-за шумов в самой линии. Обычно для уменьшения помех проводники экранируют или скручивают. Наименее помехоустойчивыми являются радиолнии, хорошей помехоустойчивостью обладают кабельные линии, отличной – волоконно-оптические линии, не восприимчивые к электромагнитному излучению.

Способы передачи данных. Для передачи данных по каналам с различными характеристиками используются способы с максимальным использованием свойств каналов для повышения скорости и достоверности передачи данных.

Данные первоначально предоставляются последовательностью прямоугольных импульсов. Для их передачи без искажения требуется полоса частот от нуля до бесконечности. Реальные каналы имеют конечную полосу частот, с которой необходимо согласовать передаваемые сигналы. Согласование обеспечивается, во-первых, путем модуляции – переноса сигнала на заданную полосу частот и, во-вторых, путем кодирования – преобразовании данных в вид, позволяющий обнаруживать и исправлять ошибки, возникающие из-за помех в канале связи.

При использовании высокочастотных проводных и кабельных линий, полоса частот которых начинается примерно от нуля, сигналы можно передавать в их естественном виде – без модуляции (в первичной полосе частот). Каналы, работающие без модуляции, называются телеграфными и обеспечивают передачу данных со скоростью, как правило, 50...200 бит/с.

Когда канал имеет резко ограниченную полосу частот, как, например, радиоканал, передача сигналов должна выполняться в этой полосе и перенос сигнала в заданную полосу производится посредством модуляции. В этом случае между оконечным оборудованием данных, работающим с двоичными сигналами, и каналом устанавливается модем – модулятор и демодулятор. *Модулятор* перемещает спектр первичного сигнала в окрестность несущей частоты f_0 . *Демодулятор* выполняет над сигналом обратное преобразование, формируя из модулированного сигнала импульсный двоичный сигнал.

Способы модуляции подразделяются на *аналоговые* и *дискретные*.

Аналоговая модуляция применяется для передачи дискретных данных по каналам с узкой полосой частот, типичным представителем которых является канал тональной частоты телефонных сетей. Она является таким способом физического кодирования, при котором информация кодируется изменением амплитуды, частоты или фазы синусоидального сигнала несущей частоты.

Амплитудная модуляция (АМ) выполняется модуляцией амплитуды несущей частоты первичным сигналом. Амплитудную модуляцию кодовых последовательностей называют амплитудной манипуляцией (АМн). В зависимости от значения передаваемого двоичного элемента (бита) несущий сигнал может принимать одно из двух состояний: «включено» (наличие сигнала) – при передаче «1», либо «выключено» (отсутствие сигнала) – при передаче «0». Двоичную АМн называют *on-off* манипуляцией. В большинстве случаев амплитудную модуляцию объединяют с фазовой модуляцией (квадратурная модуляция), что повышает помехоустойчивость передачи данных и обеспечивает большую скорость передачи.

Частотная модуляция (ЧМ). При ЧМ под воздействием модулирующих сигналов (информационных битов) меняется только частота несущего колебания. В случае частотной манипуляции (ЧМн) несущая частота выбирается из дискретного набора значений в соответствии с передаваемым битом или битовой последовательностью. В общем случае, для ЧМн может использоваться $M=2^n$ частот, каждая из которых представляет соответствующую n -битную последовательность. Так, в двоичной ЧМн используются две несущих частоты f_{01} и f_{02} , одна для двоичного нуля, другая – для двоичной единицы. Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с. При квадратурной частотной манипуляции применяются четыре частоты для передачи битных последовательностей: 00, 01; 10; 11.

Фазовая модуляция (ФМ). При ФМ в соответствии с последовательностью передаваемых информационных бит, изменяется только фаза несущего синусоидального колебания f_0 . В случае фазовой манипуляции (ФМн) фаза несущей частоты может принимать одно из нескольких дискретных значений. В двоичной схеме ФМн (биты 0 и 1) значение фазы несущей может равняться либо 0° , либо 180° . В этом случае в одном периоде несущего сигнала передается один бит информации, а кодирование осуществляется со скоростью 1 бит/с/Гц. Для передачи двойных битов 00, 01, 10 и 11 в одном периоде сигнала используется квадратурная ФМн, при которой фаза может принимать одно из четырех значений соответственно: 45° , 135° , 225° , 315° или 0° , 90° , 180° , 270° . Скорость кодирования в этом случае будет равна 2 бит/с/Гц. В общем случае, если фаза несущего сигнала принимает одно из 2^n значений, то в одном периоде сигнала передается $\log_2 2^n = n$ бит и скорость кодирования составит n бит/с/Гц.

При декодировании сигналов с ФМн фаза сигнала в приемнике должна сравниваться с фазой несущего колебания, что усложняет конструкцию устройства. В связи с этим на практике используется модифицированная форма фазовой манипуляции, которая называется *отно-*

сительной фазовой манипуляцией (ОФМн). При этом каждому информационному биту ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения. Чаще применяется двукратная ОФМ (ДОФМ), основанная на передаче четырех сигналов, каждый из которых несет информацию о двух битах исходной двоичной последовательности.

В скоростных модемах используются комбинированные методы модуляции, как правило, амплитудная в сочетании с фазовой. Применяемые на практике коды имеют достаточно большое число состояний, например 4 различных уровня амплитуды в сочетании с восьмью возможными значениями сдвига фазы (квадратурная амплитудная модуляция). Часть из этих состояний являются запрещенными, и за счет этой избыточности реализуется коррекция ошибок.

Спектр модулированного сигнала расположен симметрично относительно несущей частоты и занимает ограниченную полосу. Поэтому данный вид модуляции используется в линиях связи с частотным уплотнением, когда по линии одновременно передаются несколько сигналов, занимающих различные полосы. Примером таких сетей являются телефонные сети, в которых абоненту выделяется узкополосный канал, достаточный для передачи голоса с приемлемым качеством, и каждая пара абонентов работает только на своей частоте.

Дискретная (цифровая) модуляция применяются для преобразования аналоговых сигналов, например речевых, в цифровые. Для этих целей наиболее широко используются амплитудно-импульсная, кодово-импульсная и время-импульсная модуляция.

Кодирование передаваемых данных производится в основном для повышения помехоустойчивости данных. Так, первичные коды символов могут быть представлены в помехозащищенной форме – с использованием кодов Хемминга, обеспечивающих обнаружение и исправление ошибок в передаваемых данных. В последнее время функция повышения достоверности передаваемых данных возлагается на оконечное оборудование данных и обеспечивается за счет введения информационной избыточности в передаваемые сообщения.

При цифровом кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды. В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала. Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо перепадом потенциала определенного направления.

При выборе метода цифрового кодирования к нему предъявляют следующие требования:

- наименьшая ширина спектра результирующего сигнала при той же скорости передачи;
- возможность синхронизации между передатчиком и приемником;
- возможность распознавания ошибок.
- Более узкий спектр сигналов позволяет добиваться более высокой скорости передачи данных. Кроме того, часто к спектру сигнала предъявляется требование отсутствия постоянной составляющей.

Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени необходимо считывать новую информацию с линии связи. Как правило, в сетях применяются так называемые самосинхронизирующиеся коды, сигналы которых позволяют передатчику автоматически определять тактовую частоту передачи информационных битов (например, по резким перепадам сигналов).

Распознавание и коррекция ошибок, как правило, реализуется средствами логического кодирования, но иногда для этого используется и избыточность физических кодов.

Влияние шумов и помех

До недавних пор борьба с шумами и помехами велась методом проб и ошибок при слабом понимании физики процессов, вызывающих эти шумы и помехи. Такой подход поглощал массу времени, а при малейшем изменении конфигурации аппаратуры все приходилось начинать сначала.

- Основными источниками шумов и помех принято считать:
- Индустриальные помехи;
- Наводки от соседних цепей;
- Разъемы низкого качества;
- Реактивное сопротивление кабеля и низкое качество кабеля;
- Неточное согласование кабеля с волновым сопротивлением передатчика и приемника;
- Питание от разных фаз и наличие «петель» – помех по «земле».

Второстепенными источниками шумов являются гальванические и электролитические процессы, трибоэлектрический эффект и вибрации кабелей.

Индустриальные помехи – эти помехи, называемые также промышленными помехами, проявляют себя в местностях, где работают электростанции и различные электрические установки, аппараты и приборы: электродвигатели, аппараты электросвязи, медицинские приборы, ЭВМ, электросварочные аппараты, электрические звонки, системы электрического зажигания двигателей внутреннего сгорания. Помехи, создаваемые приемом другими радиостанциями также можно отнести к индустриальным помехам.

Наводки от соседних цепей возникают в тех случаях, когда сигнальный провод или кабель попадает в зону действия электромагнитно-

го поля, создаваемого другим проводом или кабелем. Например, если в квартире рядом проложены телефонный провод и радиотрансляционная линия, то, сняв телефонную трубку, иногда можно будет услышать музыку или речь. Это и есть наводки от соседних цепей.

Разъемы низкого качества обычно плохо экранированы, но это еще полбеды. Основным источником шумов в разъемах бывают так называемые контактные шумы, которые возникают вследствие несовершенства контакта между материалами штыря и гнезда. Контактные шумы прямо пропорциональны величине протекающего через контактную пару тока, а плотность распределения мощности шумов обратна частоте. Если разъем совсем скверного качества, то возможно даже возникновение «дребезга» и искрение. Если материалы в разьеме подобраны неправильно, без учета их взаимного положения в гальваническом ряду, то между ними может возникнуть своеобразный электрохимический элемент, создающий шумы и ускоряющий коррозию.

Сам по себе кабель, особенно если он экранированный, не является источником существенных шумов, однако, от его качества сильно зависит затухание сигнала в линии, а от индуктивных и емкостных (реактивных) характеристик – искажения передаваемого сигнала. Неправильно заземленный кабель – мощный источник искажений и помех.

Режим электрической цепи, при котором сопротивление приемника равно сопротивлению линии, называется режимом согласованной нагрузки. Если нагрузка несогласованна, то часть передаваемого сигнала не поступит в приемник, а отразится в виде обратной волны, снижая уровень передаваемого сигнала и создавая искажения.

Неправильно спроектированное питание аппаратуры (от разных фаз сети переменного тока) и неправильно организованные контуры заземления способны вызвать появление мощных помех, борьба с которыми в уже смонтированной аппаратуре чрезвычайно сложна и малоэффективна. Все возможные источники помех следует предусматривать на этапе проектирования и тогда же закладывать в систему методы и средства противодействия им.

Если помехи известны и регулярны, как например, фон переменного тока, то борьба с ними особых затруднений не представляет. Наибольшие трудности представляет борьба со случайными (непредсказуемыми) помехами. В общей форме влияние помех на регистрируемый сигнал записывается в следующем виде:

$$y(t) = V(s(t), q(t)),$$

где $s(t)$ – информационная (полезная) часть сигнала, $q(t)$ – помеха.

Помеха называется *аддитивной*, и обычно именуется шумом, если выражение (2.5.1) представляет собой простую сумму сигнала и помехи:

$$y(t) = s(t) + q(t).$$

Если случайный процесс $v(t)$, оказывающий влияние на сигнал, является неотрицательным, а его влияние выражается в форме:

$$y(t) = v(t) \cdot s(t),$$

то помеху $v(t)$ называют *мультипликативной*.

В общем случае в сигнале могут присутствовать оба вида помех:

$$y(t) = v(t) s(t) + q(t).$$

Различают пассивные и активные методы борьбы с шумами и помехами. Пассивные методы борьбы с шумами и помехами состоят:

- В уменьшении длины кабельных сетей до разумного минимума и уменьшении количества кабелей;
- В использовании по возможности композитного видеосигнала вместо компонентного;
- В использовании кабелей и разъемов только высокого качества, от известных фирм-производителей;
- В прокладке кабелей с радиусами большого изгиба, чтобы избежать помех от так называемого трибоэлектрического эффекта (накапливания заряда внутри кабеля);
- В разделении стволов сигнальных и силовых кабелей;
- В использовании согласованных нагрузок;
- В таком использовании аппаратуры, чтобы ее рабочие режимы находились значительно ниже предельных.
- Активные методы борьбы с шумами и помехами состоят:
- В использовании промежуточных усилителей сигналов, которые компенсируют их затухание в линии из-за омического сопротивления и потери на высоких частотах из-за реактивности кабеля;
- В переходе на витую пару. Если вместо коаксиального кабеля использовать неэкранированную витую пару (UTP), то кроме весьма существенного экономического выигрыша (витая пара намного дешевле коаксиального кабеля), мы получаем возможность передавать сигналы на очень большие расстояния – композитный или S-video-сигнал на расстояние до 1 км, а VGA-сигнал – на 300 м. Проблемы с наводками и помехами по «земле» при этом решаются радикально.
- В переходе на оптоволоконный кабель при необходимости передачи сигнала на очень большие расстояния (до 25 км.). Оптоволоконная линия связи полностью развязана по «земле» и в ней гарантированно отсутствуют помехи.

Методы передачи голоса и изображения

Приемлемые способы хранения и воспроизведения с помощью компьютера звуковых и видеозаписей появились только в девяностых годах двадцатого века. Эти способы работы со звуком и видео получили название мультимедийных технологий. Звук представляет собой достаточно сложное непрерывное колебание воздуха. Оказывается, что такие непрерывные сигналы можно с достаточной точностью представлять в виде суммы некоторого числа простейших синусоидальных колебаний. Причем каждое слагаемое, то есть каждая синусоида, может быть точно задана некоторым набором числовых параметров – амплитуды, фазы и частоты, которые можно рассматривать как код звука в некоторый момент времени. Такой подход к записи звука называется преобразованием в цифровую форму, оцифровыванием или дискретизацией, так как непрерывный звуковой сигнал заменяется дискретным (то есть состоящим из отдельных элементов) набором значений сигнала в некоторые моменты времени. Количество отсчетов сигнала в единицу времени называется частотой дискретизации.

Как отмечалось выше, каждый отдельный отсчет можно описать некоторой совокупностью чисел, которые затем можно представить в виде некоторого двоичного кода. Качество преобразования звука в цифровую форму определяется не только частотой дискретизации, но и количеством битов памяти, отводимых на запись кода одного отсчета. Этот параметр принято называть разрядностью преобразования. В настоящее время обычно используется разрядность 8, 16 и 24 бит. На описанных выше принципах основывается формат WAV (от WAVeform-audio – волновая форма аудио) кодирования звука. Получить запись звука в этом формате можно от подключаемых к компьютеру микрофона, проигрывателя, магнитофона, телевизора и других стандартно используемых устройств работы со звуком. Однако формат WAV требует очень много памяти. Так, при записи стереофонического звука с частотой дискретизации 44 кГц и разрядностью 16 бит – параметрами, дающими хорошее качество звучания, – на одну минуту записи требуется около десяти миллионов байтов памяти.

Кроме волнового формата WAV, для записи звука широко применяется формат с названием MIDI (Musical Instruments Digital Interface – цифровой интерфейс музыкальных инструментов). Фактически этот формат представляет собой набор инструкций, команд так называемого музыкального синтезатора – устройства, которое имитирует звучание реальных музыкальных инструментов. Команды синтезатора фактически являются указаниями на высоту ноты, длительность ее звучания, тип имитируемого музыкального инструмента и т. д. Таким образом, последовательность команд синтезатора представляет собой нечто вроде нотной записи музыкальной мелодии. Получить запись звука в формате MIDI

можно только от специальных электромузыкальных инструментов, которые поддерживают интерфейс MIDI. Формат MIDI обеспечивает высокое качество звука и требует значительно меньше памяти, чем формат WAV.

Кодирование видеоинформации еще более сложная проблема, чем кодирование звуковой информации, так как нужно позаботиться не только о дискретизации непрерывных движений, но и о синхронизации изображения со звуковым сопровождением. В настоящее время для этого используется формат, который называется AVI (Audio-Video Interleaved – чередующееся аудио и видео). Основные мультимедийные форматы AVI и WAV очень требовательны к памяти. Поэтому на практике применяются различные способы компрессии, то есть сжатия звуковых и видео-кодов. В настоящее время стандартными стали способы сжатия, предложенные MPEG (Moving Pictures Experts Group – группа экспертов по движущимся изображениям). В частности, стандарт MPEG описывает несколько популярных в настоящее время форматов записи звука. Так, например, при записи в формате MP3 при практически том же качестве звука требуется в десять раз меньше памяти, чем при использовании формата WAV. Существуют специальные программы, которые преобразуют записи звука из формата WAV в формат MP3. Совсем недавно был разработан стандарт MPEG-4, применение которого позволяет записать полнометражный цветной фильм со звуковым сопровождением на компакт-диск обычных размеров и качества.

Обнаружение и коррекция ошибок

Каналы передачи данных ненадежны, да и само оборудование обработки информации работает со сбоями. По этой причине важную роль приобретают механизмы детектирования ошибок. Ведь если ошибка обнаружена, можно осуществить повторную передачу данных и решить проблему. Если исходный код по своей длине равен полученному коду, обнаружить ошибку передачи не предоставляется возможным.

Простейшим способом обнаружения ошибок является контроль по четности. Обычно контролируется передача блока данных (M бит). Этому блоку ставится в соответствие кодовое слово длиной N бит, причем $N > M$. Избыточность кода характеризуется величиной $1 - M/N$. Вероятность обнаружения ошибки определяется отношением M/N (чем меньше это отношение, тем выше вероятность обнаружения ошибки, но и выше избыточность).

При передаче информации она кодируется таким образом, чтобы с одной стороны характеризовать ее минимальным числом символов, а с другой – минимизировать вероятность ошибки при декодировании получателем. Для выбора типа кодирования важную роль играет так называемое расстояние Хэмминга.

Пусть A и B две двоичные кодовые последовательности равной длины. Расстояние Хэмминга между двумя этими кодовыми последова-

тельностью равно числу символов, которыми они отличаются. Например, расстояние Хэмминга между кодами 00111 и 10101 равно 2.

Можно показать, что для детектирования ошибок в n битах, схема кодирования требует применения кодовых слов с расстоянием Хэмминга не менее $N+1$. Можно также показать, что для исправления ошибок в N битах необходима схема кодирования с расстоянием Хэмминга между кодами не менее $2N+1$. Таким образом, конструируя код, мы пытаемся обеспечить расстояние Хэмминга между возможными кодовыми последовательностями больше, чем оно может возникнуть из-за ошибок.

Широко распространены коды с одиночным битом четности. В этих кодах к каждому M бит добавляется 1 бит, значение которого определяется четностью (или нечетностью) суммы этих M бит. Так, например, для двухбитовых кодов 00, 01, 10, 11 кодами с контролем четности будут 000, 011, 101 и 110. Если в процессе передачи один бит будет передан неверно, четность кода из $M+1$ бита изменится.

Предположим, что частота ошибок (BER) равна $p=10^{-4}$. В этом случае вероятность передачи 8 бит с ошибкой составит $1-(1-p)^8=7,9 \times 10^{-4}$. Добавление бита четности позволяет детектировать любую ошибку в одном из переданных битов. Здесь вероятность ошибки в одном из 9 бит равна $9p(1-p)^8$. Вероятность же реализации необнаруженной ошибки составит $1-(1-p)^9 - 9p(1-p)^8 = 3,6 \times 10^{-7}$. Таким образом, добавление бита четности уменьшает вероятность необнаруженной ошибки почти в 1000 раз. Использование одного бита четности типично для асинхронного метода передачи. В синхронных каналах чаще используется вычисление и передача битов четности как для строк, так и для столбцов передаваемого массива данных. Такая схема позволяет не только регистрировать, но и исправлять ошибки в одном из битов переданного блока.

Контроль по четности достаточно эффективен для выявления одиночных и множественных ошибок в условиях, когда они являются независимыми. При возникновении ошибок в кластерах бит метод контроля четности неэффективен и тогда предпочтительнее метод вычисления циклических сумм (CRC). В этом методе передаваемый кадр делится на специально подобранный образующий полином. Дополнение остатка от деления и является контрольной суммой.

В Ethernet вычисление crc производится аппаратно. На рис. 3 показан пример реализации аппаратного расчета CRC для образующего полинома $V(x)=1+x^2+x^3+x^5+x^7$. В этой схеме входной код приходит слева.

Эффективность CRC для обнаружения ошибок на многие порядки выше простого контроля четности. В настоящее время стандартизовано несколько типов образующих полиномов. Для оценочных целей можно считать, что вероятность невыявления ошибки в случае использования

CRC, если ошибка на самом деле имеет место, равна $(1/2)^r$, где r – степень образующего полинома.

$$\text{CRC-12} \quad x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + 1$$

$$\text{CRC-16} \quad x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-CCITT} \quad x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

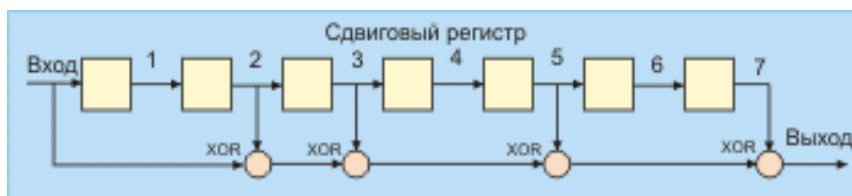


Рис. 3. Схема реализации расчета CRC

Исправлять ошибки труднее, чем их детектировать или предотвращать. Процедура коррекции ошибок предполагает два совмещенные процесса: обнаружение ошибки и определение места (идентификация сообщения и позиции в сообщении). После решения этих двух задач, исправление тривиально – надо инвертировать значение ошибочного бита. В наземных каналах связи, где вероятность ошибки невелика, обычно используется метод детектирования ошибок и повторной пересылки фрагмента, содержащего дефект. Для спутниковых каналов с типичными для них большими задержками системы коррекции ошибок становятся привлекательными. Здесь используют коды Хэмминга или коды свертки.

Но существуют и более простые методы коррекции ошибок. Например, передача блока данных, содержащего N строк и M столбцов, снабженных битами четности для каждой строки и столбца. Обнаружение ошибки четности в строке i и столбце j указывает на бит, который должен быть инвертирован. Может показаться, что в случае, когда неверны два бита, находящиеся в разных строках и столбцах, они также могут быть исправлены. Но это не так. Ведь нельзя разделить варианты $i1, j1 - i2, j2$ и $i1, j2 - i2, j1$.

Этот метод может быть развит путем формирования блока данных с N строками, M столбцами и K слоями. Здесь биты четности формируются для всех строк и столбцов каждого из слоев, а также битов, имеющих одинаковые номера строк и столбцов i, j . Полное число битов четности в этом случае равно $(N+M+1) \times K + (N+1) \times (M+1)$. Если $M=N=K=8$, число бит данных составит 512, а число бит четности – 217. Нетрудно видеть, что в этом случае число исправляемых ошибок будет больше 1. См. рис. 4.

Код Хэмминга представляет собой блочный код, который позволяет выявить и исправить ошибочно переданный бит в пределах переданного блока. Обычно код Хэмминга характеризуется двумя целыми числами, например, (11,7) используемый при передаче 7-битных ASCII-кодов. Такая запись говорит, что при передаче 7-битного кода используется 4 контрольных бита ($7+4=11$). При этом предполагается, что имела место ошибка в од-

ном бите и что ошибка в двух или более битах существенно менее вероятна. С учетом этого исправление ошибки осуществляется с определенной вероятностью. Например, пусть возможны следующие правильные коды (все они, кроме первого и последнего, отстоят друг от друга на расстояние 4):

00000000
 11110000
 00001111
 11111111

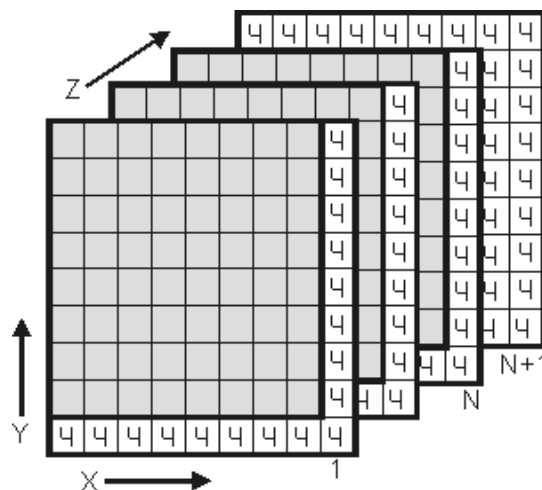


Рис. 4. Метод коррекции более одной ошибки в блоке данных (битам данных соответствуют окрашенные квадраты)

При получении кода 00000111 не трудно предположить, что правильное значение полученного кода равно 00001111. Другие коды отстоят от полученного на большее расстояние Хэмминга.

Рассмотрим пример передачи кода буквы $s = 0 \times 073 = 1110011$ с использованием кода Хэмминга.

Позиция бита:	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Значение бита:	1	1	1	*	0	0	1	*	1	*	*

Символами * помечены четыре позиции, где должны размещаться контрольные биты. Эти позиции определяются целой степенью 2 (1, 2, 4, 8 и т. д.). Контрольная сумма формируется путем выполнения операции XOR (исключающее ИЛИ) над кодами позиций ненулевых битов. В данном случае это 11, 10, 9, 5 и 3. Вычислим контрольную сумму:

11 =	1011
10 =	1010
09 =	1001
05 =	0101
03 =	0011
S =	1110

Таким образом, приемник получит код:

Позиция бита:	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Значение бита:	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0

Просуммируем снова коды позиций ненулевых битов и получим нуль.

11 =	1011
10 =	1010
09 =	1001
08 =	1000
05 =	0101
04 =	0100
03 =	0011
02 =	0010
S =	0000

Циклические коды. Обобщением кодов Хэмминга являются циклические коды BCH (Bose-Chadhuri-Nocquenghem). Это коды с широким выбором длины и возможностей исправления ошибок. Циклические коды характеризуются полиномом $g(x)$ степени $n-k$, $g(x) = 1 + g_1x + g_2x^2 + \dots + x^{n-k}$. $g(x)$ называется порождающим многочленом циклического кода. Если многочлен $g(x)$ $n-k$ и является делителем многочлена $x^n + 1$, то код $C(g(x))$ является линейным циклическим (n,k) -кодом. Число циклических n -разрядных кодов равно числу делителей многочлена $x^n + 1$.

При кодировании слова все кодовые слова кратны $g(x)$. $g(x)$ определяется на основе сомножителей полинома $x^n + 1$ как:

$$x^n + 1 = g(x)h(x)$$

Например, если $n=7$ (x^7+1), его сомножители $(1+x+x^3)(1+x+x^2+x^4)$, а $g(x) = 1+x+x^3$.

Чтобы представить сообщение $h(x)$ в виде циклического кода, в котором можно указать постоянные места проверочных и информационных символов, нужно разделить многочлен $x^{n-k}h(x)$ на $g(x)$ и прибавить остаток от деления к многочлену $x^{n-k}h(x)$. Привлекательность циклических кодов заключается в простоте аппаратной реализации с использованием сдвиговых регистров.

Пусть общее число бит в блоке равно N , из них полезную информацию несут в себе K бит, тогда в случае ошибки, имеется возможность исправить t бит. Табл. 2.8.1 содержит зависимость t от N и K для кодов BCH.

Увеличивая разность $N-M$, можно не только нарастить число исправляемых бит t , но открыть возможность обнаружить множественные ошибки. В табл. 2.8.2 приведен процент обнаруживаемых множественных ошибок в зависимости от M и $N-M$.

Таблица 2.8.1

Общее число бит N	Число полезных бит M	Число исправляемых бит m
31	26	1
	21	2
	16	3
63	57	1
	51	2
	45	3
127	120	1
	113	2
	106	3

Таблица 2.8.2

Число полезных бит M	Число избыточных бит (n-m)		
	6	7	8
32	48 %	74 %	89 %
40	36 %	68 %	84 %
48	23 %	62 %	81 %

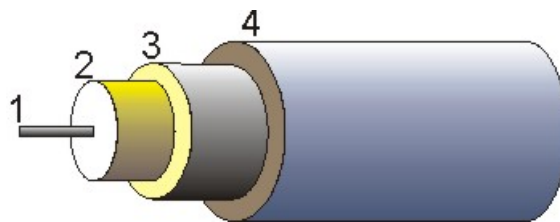
Другой блочный метод предполагает «продольное и поперечное» контрольное суммирование передаваемого блока. Блок при этом представляется в виде N строк и M столбцов. Вычисляются биты четности для всех строк и всех столбцов, в результате получается два кода, соответственно длиной N и M бит. На принимающей стороне биты четности для строк и столбцов вычисляются повторно и сравниваются с присланными. При выявлении отличия в бите i кода битов четности строк и бите j – кода столбцов, позиция неверного бита оказывается определенной (i,j). Понятно, что если выявится два и более неверных битов в контрольных кодах строк и столбцов, задача коррекции становится неразрешимой. Уязвим этот метод и для двойных ошибок, когда сбой был, а контрольные коды остались корректными.

Применение кодов свертки позволяют уменьшить вероятность ошибок при обмене, даже если число ошибок при передаче блока данных больше 1.

КАНАЛЫ СВЯЗИ

Кабельные каналы связи

Кабельные каналы для целей телекоммуникаций исторически использовались первыми. Да и сегодня по суммарной длине они превосходят даже спутниковые каналы. Основную долю этих каналов, насчитывающих многие сотни тысяч километров, составляют телефонные медные кабели. Эти кабели содержат десятки или даже сотни скрученных пар проводов. Полоса пропускания таких кабелей обычно составляет 3...3,5 кГц при длине 2...10 км. Эта полоса диктовалась ранее нуждами аналогового голосового обмена в рамках коммутируемой телефонной сети с учетом возрастающих требованиям к широкополосности каналов скрученные пары проводов пытались заменить коаксиальными кабелями, которые имеют полосу от 100 до 500 МГц (до 1 Гбит/с), и даже полыми волноводами. Именно коаксиальные кабели стали в начале транспортной средой локальных сетей ЭВМ (10base-5 и 10base-2; см. рис. 5).



*Рис. 5. 1 центральный проводник;
2 изолятор; 3 проводник-экран; внешний изолятор*

Коаксиальная система проводников из-за своей симметричности вызывает минимальное внешнее электромагнитное излучение. Сигнал распространяется по центральной медной жиле, контур тока замыкается через внешний экранный провод. При заземлении экрана в нескольких точках по нему начинают протекать выравнивающие токи (ведь разные «земли» обычно имеют неравные потенциалы). Такие токи могут стать причиной внешних наводок (иной раз достаточных для выхода из строя интерфейсного оборудования), именно это обстоятельство является причиной требования заземления кабеля локальной сети только в одной точке. Наибольшее распространение получили кабели с волновым сопротивлением 50 Ом. Это связано с тем, что эти кабели из-за относительно толстой центральной жилы характеризуются минимальным ослаблением сигнала (волновое сопротивление пропорционально логарифму отношения диа-

метров внешнего и внутреннего проводников). Но по мере развития технологии скрученные пары смогли вытеснить из этой области коаксиальные кабели. Это произошло, когда полоса пропускания скрученных пар достигла 200...350 МГц при длине 100 м (неэкранированные и экранированные скрученные пары категории 5 и 6), а цены на единицу длины сравнялись. Скрученные пары проводников позволяют использовать биполярные приемники, что делает систему менее уязвимой (по сравнению с коаксиальными кабелями) к внешним наводкам. Но основополагающей причиной вытеснения коаксиальных кабелей явилась относительная дешевизна скрученных пар. Скрученные пары бывают одинарными, объединенными в многопарный кабель или оформленными в виде плоского ленточного кабеля. Применение проводов сети переменного тока для локальных сетей и передачи данных допустимо для весьма ограниченных расстояний. В табл. 3.1.1 приведены характеристики каналов, базирующихся на обычном и широкополосном коаксиальном кабелях.

Таблица 3.1.1

	Стандартный кабель	Широкополосный
Максимальная длина канала	2 км	10 км
Скорость передачи данных	1 Мбит/с	100 Мбит/с
Режим передачи	Полудуплекс	дуплекс
Ослабление влияния электромагнитных и радиочастотных наводок	50 дБ	85 дБ
Число подключений	< 50 устройств	1500 каналов с одним или более устройств на канал
Доступ к каналу	CSMA/CD	FDM/FSK

На рис. 6 показана зависимость ослабления кабеля (внешний диаметр 0,95 см) от частоты передаваемого сигнала.

При диагностировании сетей не всегда под руками может оказаться настоящий сетевой тестер типа WaveTek, и часто приходится довольствоваться обычным авометром. В этом случае может оказаться полезной таблица, где приведены удельные сопротивления используемых сетевых кабелей. Произведя измерение сопротивления сегмента, вы можете оценить его длину.

Кабели, изготовленные из скрученных пар категории 5 (волновое сопротивление 100,15 Ом), с полосой 100 МГц обеспечивают пропускную способность при передаче сигналов АТМ 155 Мбит/с. При 4 скрученных парах это позволяет осуществлять передачу до 622 Мбит/с. Кабели кате-

гории 6 сертифицируются до частот 300 МГц, а экранированные и до 600 МГц (волновое сопротивление 100 Ом). В табл. 3.1.4 приведены данные по затуханию и перекрестным наводкам. Приведены характеристики такого кабеля с 4-мя скрученными экранированными парами (S-FTP).

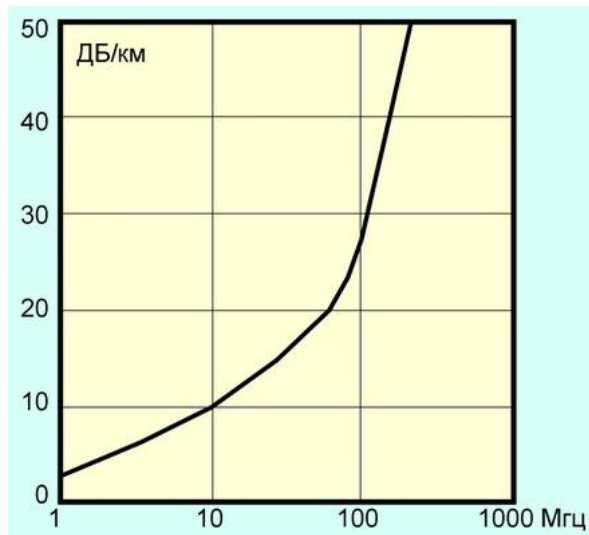


Рис. 6. Зависимость ослабления сигнала в кабеле от его частоты

Таблица 3.1.3

Параметры неэкранированных пар категории 6

Частота, МГц	Затухание, дБ/100 м	NEXT, дБ	ACR, дБ/100 м
1	2,3	62	60
10	6,9	47	41
100	23,0	38	23
300	46,8	31	4

ACR – Attenuation-to-Crosstalk Ratio.

NEXT – Near End CrossTalk.

Таблица 3.1.4

Частота, МГц	Затухание, дБ/100 м	NEXT, дБ	ACR, дБ/100 м
1	2,1	80	77,9
10	6,0	80	74
100	19,0	70	51
300	33,0	70	37
600	50	60	10

Такой кабель пригоден для передачи информации со скоростью более 1 Гбит/с. ACR – Attenuation-to-Crosstalk Ratio (отношение ослабления к относительной величине перекрестных наводок).

Ниже на рис. 7 показана зависимость наводок на ближнем конце кабеля, содержащего скрученные пары, (NEXT at End CrossTalk) от частоты передаваемого сигнала.

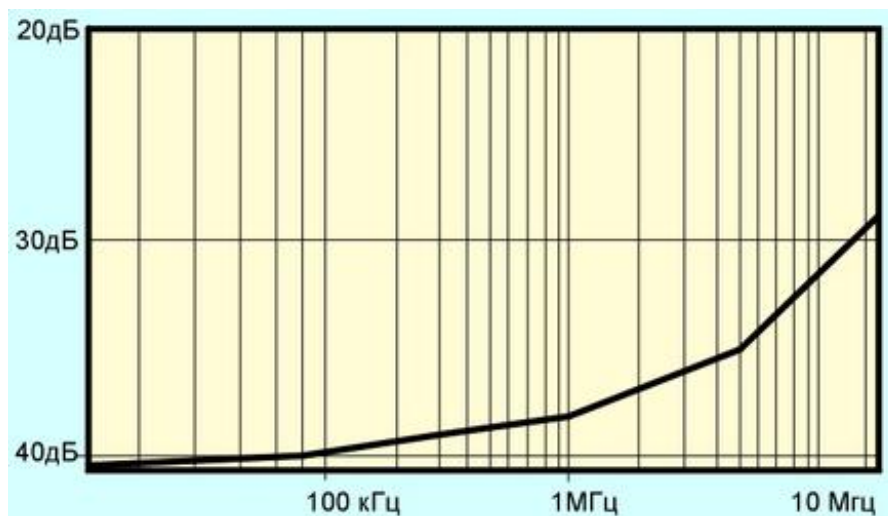


Рис. 7. Зависимость наводок NEXT от частоты передаваемого сигнала

На рис. 8 представлена зависимость ослабления сигнала в неэкранированной скрученной паре (именно такие кабели наиболее часто используются для локальных сетей) от частоты передаваемого сигнала. Следует иметь в виду, что при частотах в области сотен мегагерц и выше существенный вклад начинает давать поглощение в диэлектрике. Таким образом, даже если проводники изготовить из чистого золота, существенного продвижения по полосе пропускания достичь не удастся.

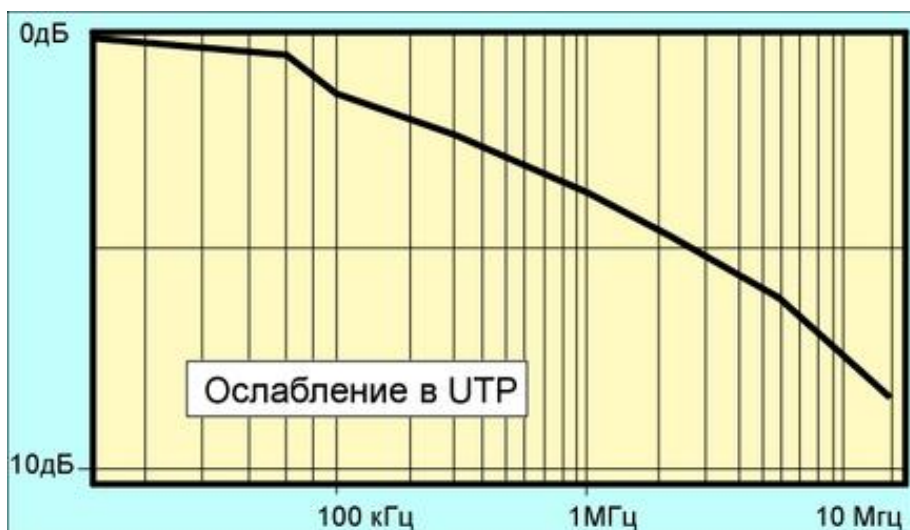


Рис. 8. Зависимость ослабления сигнала от частоты для неэкранированной скрученной пары

Для неэкранированной скрученной пары 5-й категории зависимость отношения сигнал-шум от длины с учетом ослабления и наводок NEXT показана на рис. 9.

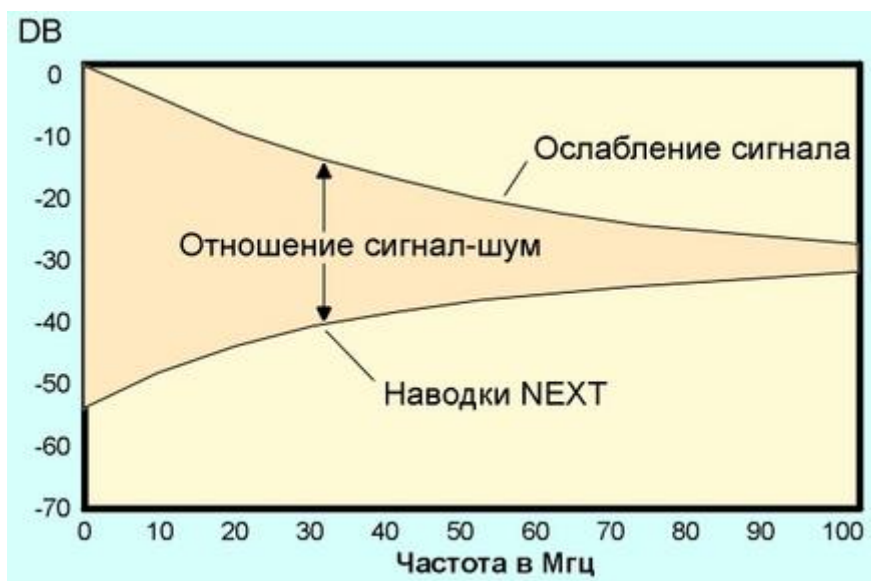


Рис. 9. Зависимость отношения сигнал/шум от частоты с учетом ослабления и наводок на ближнем конце кабеля

Новые Ethernet протоколы 1000BASE-T и 10GBASE-T требуют применения скрученных пар существенно более высокого качества (с большей полосой пропускания, с более низкими уровнями NEXT и FEXT). Передача в этом случае производится по четырем скрученным парам одновременно. Требования к кабелю определяются документом ISO/IEC-11801:2002 для классов D или выше.

Подводя итоги можно сказать, что при расстояниях до 100 метров с успехом могут использоваться скрученные пары и коаксиальные кабели, обеспечивая полосу пропускания до 150 Мбит/с, при больших расстояниях или более высоких частотах передачи оптоволоконный кабель предпочтительнее. При расстояниях в 10...20 метров с помощью скрученной пары можно достичь полосы пропускания до 1 Гбит/с. Если расстояние между ЭВМ не превышает нескольких сотен метров, коаксиальный кабель позволяет без труда получить 107...108 бит/с при вероятности ошибки 10⁻¹²...10⁻¹³. Связь через коммутируемую телефонную линию допускает скорость обмена ~10⁴ бит/с при вероятности ошибки 10⁻⁵. Следует заметить, что работа с кабелями предполагает необходимость доступа к системе канализации (иногда это требует специальных лицензий; а там часто размещаются усилители-повторители). Кабельное хозяйство требует обслуживания. В этом отношении радиоканалы предпочтительнее, ведь случаев коррозии электромагнитных волн не зарегистрировано.

Оптические каналы связи

В 2000 году общая длина оптоволокон только в США превысила 30 миллионов километров. Оптоволоконные линии связи работают в частотном диапазоне 10¹³...10¹⁶ Гц, что на 6 порядков больше, чем в случае радиочастотных каналов (это обеспечивает пропускную способность 50000 Гбит/с). Но земная атмосфера является плохой средой для распространения света. По этой причине только разработка кремниевых волокон с низким коэффициентом поглощения в инфракрасном диапазоне (< 0,2 дБ/км) сделало возможным широкое распространение оптических каналов связи. Укладывается ~1000 км оптоволоконного кабеля в день. В настоящее время каналы обычно имеют пропускную способность ~1 Гбит/с и это связано с ограниченным быстродействием оборудования, преобразующего оптический сигнал в электрический и обратно. В ближайшие годы следует ожидать увеличения быстродействия таких устройств в 100–1000 раз. Учитывая, что $Df = (cdl)/\lambda^2$, где c – скорость света, f – частота, а l – длина волны. Для наиболее популярного диапазона $l = 1,3$ м и $Dl = 0,17$ м мы имеем $Df = \sim 30$ ТГц.

В 2002 году компанией Zonu разработан фототрансивер (GBIC) на 1,25 Гбит/с для передачи и приема данных по одному и тому же волокну при длине волны 1310 нм. Для одномодового волокна расстояние передачи может составлять до 10 км. При длине волны 1550 нм достижимо расстояние передачи в 40 км. Разрабатывается вариант для скоростей передачи 2,5 Гбит/с

Оптоволоконное соединение гарантирует минимум шумов и высокую безопасность (практически почти невозможно сделать отвод). Пластиковые волокна применимы при длинах соединений не более 100 метров и при ограниченном быстродействии (<50 МГц). В последнее время (2006–7 г.) разработаны пластиковые волокна, пригодные для передачи со скоростью 40 Гбит/с при длине кабеля 30 м и со скоростью 5,35 Гбит/с при длине кабеля 220 м (Lightware N4 2007). Вероятность ошибки при передаче по оптическому волокну составляет <10⁻¹⁰, что во многих случаях делает ненужным контроль целостности сообщений.

При построении сетей используются многожильные кабели (рис. 10; существуют и другие разновидности кабеля: например, двух- или четырехжильные, а также плоские). В верхней части рисунка [а] изображено отдельное оптоволокно, а в нижней [Б] сечение восьмижильного оптического кабеля. Свет (длина волны $l \sim 1350$ или 1500 нм) вводится в оптоволокно (диаметром $d < 100$ м) с помощью светоизлучающего диода или полупроводникового лазера. Центральное волокно покрывается слоем (клядинг, 1А), коэффициент преломления которого

меньше чем у центрального ядра (стрелками условно показан ход лучей света в волокне). Для обеспечения механической прочности извне волокно покрывается полимерным слоем (2А). Кабель может содержать много волокон, например 8 (1Б). В центре кабеля помещается стальной трос (3Б), который используется при прокладке кабеля. С внешней стороны кабель защищается (от крыс!) стальной оплеткой (2Б) и герметизируется эластичным полимерным покрытием.

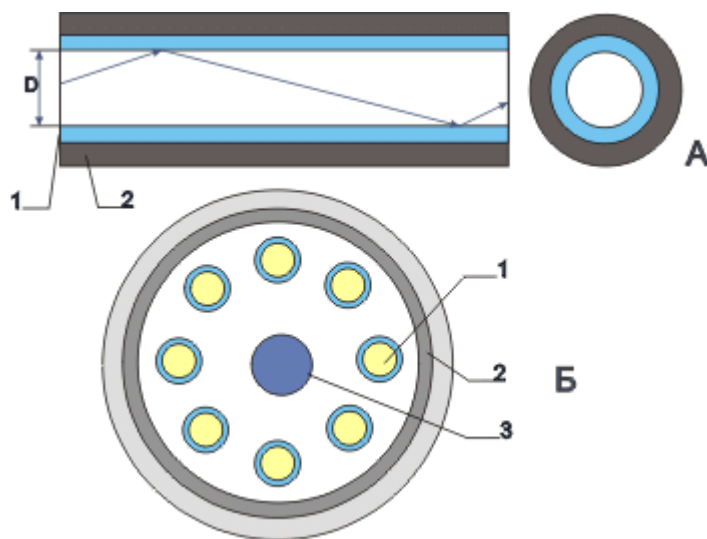


Рис. 10. Сечение оптоволоконного кабеля

Существует несколько типов оптических волокон, обладающих различными свойствами. Они отличаются друг от друга зависимостью коэффициента преломления от радиуса центрального волокна. На рис. 11 показаны три разновидности волокна (А, Б и В). Буквами А и Б помечен мультимодовый вид волокон. Тип Б имеет меньшую дисперсию времени распространения и по этой причине вносит меньшие искажения формы сигнала. Установлено, что, придавая световым импульсам определенную форму (обратный гиперболический косинус), дисперсионные эффекты можно полностью исключить. При этом появляется возможность передавать импульсы на расстояние в тысячи километров без искажения их формы. Такие импульсы называются солитонами. При современных же технологиях необходимо использовать повторители через каждые 30 км (против 5 км для медных проводов). По сравнению с медными проводами оптоволоконные кабели несравненно легче. Так одна тысяча скрученных пар при длине 1 км весит 8 тонн, а два волокна той же длины, обладающие большей пропускной способностью, имеют вес 100 кг. Это обстоятельство открывает возможность укладки оптических кабелей вдоль высоковольтных линий связи, подвешивая или обвивая их вокруг проводников.

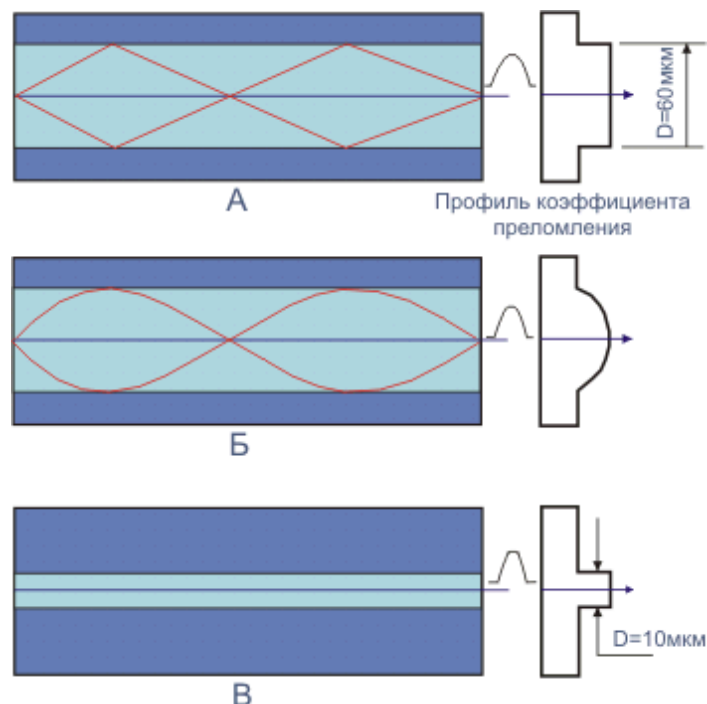


Рис. 11. Разновидности оптических волокон, отличающиеся зависимостью коэффициента преломления от радиуса

Буквой В помечен одномодовый вид волокна (понятие мода связано с характером распространения электромагнитных волн). Мода представляет собой одно из возможных решений уравнения Максвелла. В упрощенном виде можно считать, что мода – это одна из возможных траекторий, по которой может распространяться свет в волокне.

Чем больше мод, тем больше дисперсионное искажение формы сигнала. Одномодовое волокно позволяет получить полосу пропускания в диапазоне 50...100 ГГц-км. Типовое значение модовой дисперсии лежит в пределах от 15 до 30 нсек/км.

Эта разновидность волокна воспринимает меньшую долю света на входе, за то обеспечивает минимальное искажение сигнала и минимальные потери амплитуды. Следует также иметь в виду, что оборудование для работы с одномодовым волокном значительно дороже. Центральная часть одномодового волокна имеет диаметр 3...10 м, а диаметр клэдинга составляет 30...125 м. Число мод, допускаемых волокном, в известной мере определяет его информационную емкость. Модовая дисперсия приводит к расплыванию импульсов и их наезжанию друг на друга. На поляризационную модовую дисперсию влияют нарушения круговой симметрии, механическое напряжения, сдавливание, изгиб и скручивание волокна. Все эти факторы оказываются существенными при переходе на скорости передачи порядка 10 Гбит/с или выше. Дисперсия зависит от диаметра центральной части волокна и длины волны света. Число мод n равно для волокна типа А:

$$N = \frac{2\pi^2 d^2 A^2}{\lambda^2},$$

где d – диаметр центральной части (ядра), a – численная апертура волокна, λ – длина волны. Волокно с диаметром центральной части волокна 50 м поддерживает 1000 мод. Для волокна типа Б (рис. 3.2.2) значение n в два раза меньше. Численная апертура A равна

$$A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

где n_1 (~1,48) и n_2 (~1,46), соответственно, коэффициенты преломления ядра и клэдинга. Величина A определяет ширину входного конуса волокна q (телесный угол захвата входного излучения) $q = \arcsin A$ (~3,370).

Очевидно, что чем больше длина волны, тем меньше число мод и меньше искажения сигнала. Это, в частности, является причиной работы в длинноволновом инфракрасном диапазоне. Но даже для одной и той же моды различные длины волн распространяются по волокну с разной скоростью. Волокно со сглаженным профилем показателя преломления имеет дисперсию 1 нсек/км и меньше. Это, в частности, связано с тем, что свет в периферийных областях волокна с большей длиной траектории движется быстрее (там ведь меньше коэффициент преломления). Одномодовый режим реализуется тогда, когда длина волны вета становится сравнимой с диаметром ядра волокна. Длина волны, при которой волокно становится одномодовым, называется пороговой. Волокно с диаметром 50 микрон может поддерживать до 1000 мод.

В отличие от многомодового волокна, в одномодовом – излучение присутствует не только внутри ядра. По этой причине повышаются требования к оптическим свойствам клэдинга. Для многомодового волокна требования к прозрачности клэдинга весьма умеренны.

Затуханием обычно называется ослабление сигнала по мере его движения по волокну. Оно измеряется в децибелах на километр и варьируется от 300 дБ/км для пластиковых волокон до 0,21 дБ/км – для одномодовых волокон. Полоса пропускания волокна определяется дисперсией. Приблизительно полосу пропускания одномодового волокна можно оценить согласно формуле.

$$BW = 0,187 / (Disp * SW * L),$$

где $Disp$ – дисперсия на рабочей длине волны в сек на нм и на км; SW – ширина спектра источника в нм; L – длина волокна в км;

Если диаметр источника света не соответствует диаметру ядра волокна, то потери света, связанные с геометрическим рассогласованием могут быть охарактеризованы следующей формулой.

Потери диам = $10\log_{10}(\text{Диаметр волокна}/\text{Диаметр источника})^2$

Потерь нет, когда волокно имеет диаметр больше диаметра источника света. Если числовая апертура источника больше апертуры волокна, то потери света составят:

Потери диам = $10\log_{10}(A \text{ волокна}/A \text{ источника})^2$

Помимо дисперсии быстродействие оптического канала ограничивается шумами. Шумы имеют две составляющие: дробовой и тепловой шум. Дробовой шум определяется соотношением:

$$i_{sn}^2 = 2eiB,$$

где e – заряд электрона, i – средний ток, протекающий через приемник, и B – ширина полосы пропускания приемника. Типовое значение дробового шума составляет 25 нА при температуре 25 градусов Цельсия. Тепловой шум характеризуется соотношением:

$$i_{sn}^2 = (4 kTB)/RL$$

где k – постоянная Больцмана, T – температура по шкале Кельвина, B – ширина полосы пропускания приемника, RL – сопротивление нагрузки. При полосе в 10 МГц и температуре 298 0К эта составляющая шума равна 18 нА. Одной из составляющих теплового шума является тепловой ток, который возрастает на 10 % при росте температуры на 1 градус.

Чувствительность приемника задается квантовой эффективностью, которая характеризует отношение числа первичных электронно-дырочных пар к числу падающих на детектор фотонов. Этот параметр часто выражается в процентах (реже в амперах на люмен). Так, если на каждые 100 фотонов приходится 60 пар электрон-дырка, то квантовая эффективность равна 60 %. Чувствительность фотодетектора R может быть вычислена на основе квантовой чувствительности. $R = (neI)/hc$, где e – заряд электрона, h – постоянная Планка, c – скорость света, l – длина волны, а n – квантовая чувствительность.

Источники излучения инжектируемого в волокно имеют конечную полосу частот. Так светоизлучающие диоды излучают свет с шириной полосы 35 нм, а лазеры 2...3 нм (лазеры имеют, кроме того, более узкую диаграмму направленности, чем диоды). Характеристики светодиодов и инжекционных лазерных диодов приведены в табл. 3.2.1.

Время нарастания фотодиода ограничивает быстродействие системы. Не малую роль играет и уровень шумов на входе приемника. При этом световой импульс должен нести достаточно энергии (заметно больше уровня шума), чтобы обеспечить низкий уровень ошибок. В табл. 3.2.2 приведены характеристики оптических приемников.

Таблица 3.2.1

Характеристики светодиодов и инжекционных лазерных диодов

Параметры	Светодиод (led)	Инжекционные лазерные диоды
Выходная мощность	0,5...11,5 мВт	3...10 мВт
Время нарастания	1...20 нс	1...2 нс
Диапазон тока смещения	5...150 мА	100...500 мА

Таблица 3.2.2

Характеристики оптических приемников

Параметры	pin	Лавинный фотодиод	Фототранзистор	Фотоприемник Дарлингтона
Чувствительность	0,5 мка/мкВт	15 мка/мкВт	35 мка/мкВт	180 мка/мкВт
Время нарастания	1 нс	2 нс	2 мкс	40 мкс
Напряжение смещения	10 В	100 В	10 В	10 В

Поглощение света в волокне происходит по нескольким причинам. Поглощение в собственно стекле волокна падает с частотой, в то время как потери из-за рассеяния на дефектах стекла (релеевское рассеяние) с увеличением частоты растет. При сгибании волокна поглощение увеличивается. По этой причине следует избегать малых радиусов изгиба (кроме всего прочего это может привести и к обрыву). В результате потери света в волокне обычно лежат в диапазоне (2...5) дБ/км для длин волн 0,8...1,8 м. Зависимость поглощения света в волокне от длины волны показана на рис. 12. Используемые диапазоны отмечены на рисунке зеленым цветом. Все эти диапазоны имеют ширину 25000...30000 ГГц.

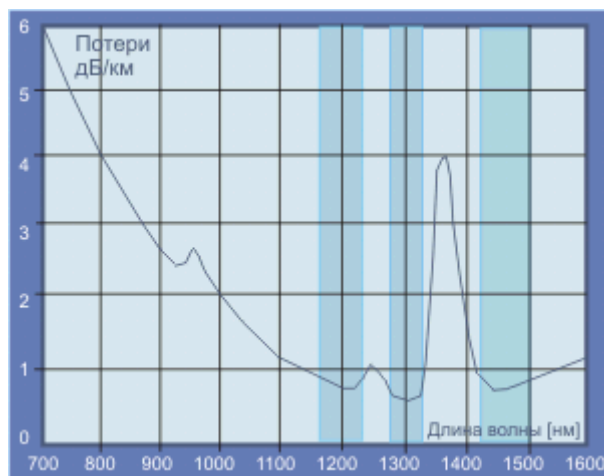


Рис. 12. Зависимость поглощения света в волокне от длины волны

В настоящее время стандартизовано 6 диапазонов длин волн.

Название диапазона	Характеристика	Интервал длин волн
O	Исходный	1260...1360 нм
E	Расширенный	1260...1460 нм
S	Коротковолновый	1460...1530 нм
C	Стандартный	1460...1530 нм
L	Длинноволновый	1565...1625 нм
U	Ультрадлинноволновый	1625...1675 нм

Из рис. 12 видно, что минимумы поглощения приходятся на 1300 и ~1500 нм, что и используется для целей телекоммуникаций. При длине волны 1300 нм дисперсия скоростей распространения различных длин волн минимальна. Диапазон ~850 нм характеризуется высоким поглощением, но он привлекателен тем, что как лазеры, так и электроника могут быть изготовлены из одного материала (арсенида галлия). Используемые оптические диапазоны выделены зеленым цветом. Зависимость дисперсии от длины волны показана на рис. 13.

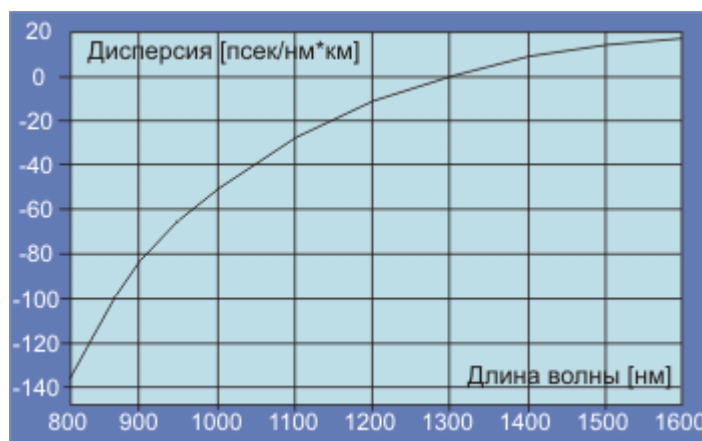


Рис. 13. Зависимость дисперсии от длины волны

Из рисунка видно, что в области ниже 1300 нм более длинные волны движутся быстрее коротких. Для длин волн >1300 нм имеет место обратная ситуация – более длинные волны движутся медленнее коротких. Для одномодовых волокон определяющий вклад в искажения вносятся дисперсией скоростей распространения, для многомодовых основной вклад вносит модовая дисперсия. Зависимость полосы пропускания волокна от его длины приведена на рис. 14.

Типовые характеристики оптических волокон приведены в табл. 3.2.3.

Одним из критических мест волоконных систем являются сростки волокон и разъемы. Учитывая диаметр центральной части волокна, нетрудно предположить, к каким последствиям приведет смещение осей

стыкуемых волокон даже на несколько микрон (особенно в одномодовом варианте, где диаметр центрального ядра менее 10 микрон) или деформация формы сечения волокон.

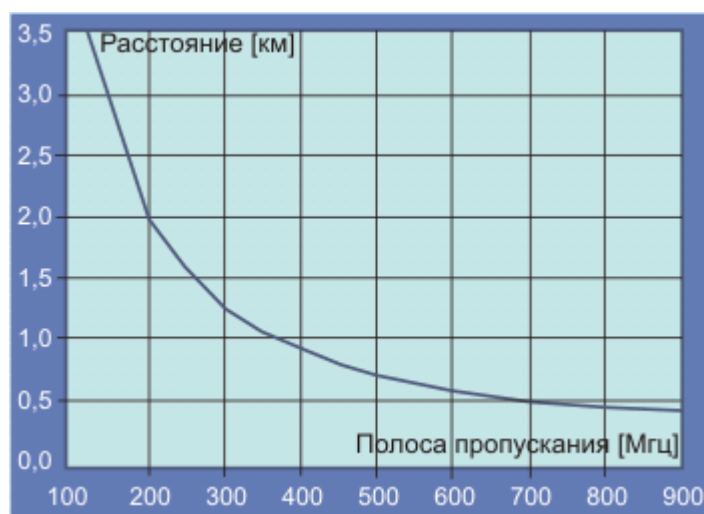


Рис. 14. Зависимость полосы пропускания волокна от его длины

Таблица 3.2.3

Типовые характеристики оптических волокон

Тип волокна	Диаметр ядра [мкм]	Диаметр клэдинга [мкм]	A	Затухание [дБ/км]			Полоса пропускания [МГц/км]
				850	1300	1550	
Длина волны				850	1300	1550	
Одномодовое	9,3	125	0,13		0,4	0,3	5000 для 850 нм
	8,1	125	0,17		0,5	0,25	
Со сглаженным индексом	50	125	0,2	2,4	0,6	0,5	600 для 850 нм; 1500 для 1300 нм
	62,5	125	0,275	3,0	0,7	0,3	
	85	125	0,26	2,8	0,7	0,4	
Ступенчатый индекс	200	380	0,27	6,0			6 при 850 нм

Соединители для оптических волокон имеют обычно конструкцию, показанную на рис. 15, и изготавливаются из керамики. Потеря света в соединителе составляет 10...20 %. Для сравнения сварка волокон приводит к потерям не более 1...2 %. Существует также техника механического сращивания волокон, которая характеризуется потерями около 10 % (splice). Оптические аттенюаторы для оптимального согласования динамического диапазона оптического сигнала и интервала чувствительности входного устройства представляют собой тонкие металлические шайбы, которые увеличивают зазор между волокном кабеля и приемником.

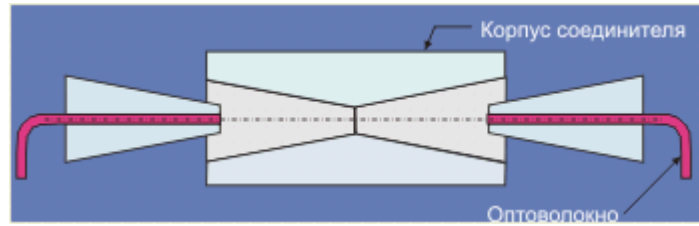


Рис. 15. Схема оптического разъема

Если длина волокна должна быть велика из-за расстояния, которое нужно перекрыть, а потребителей по дороге нет, приходится ставить промежуточные усилители сигнала (см. рис. 16, присутствие ЭВМ не обязательно).



Рис. 16. Промежуточный волоконный усилитель

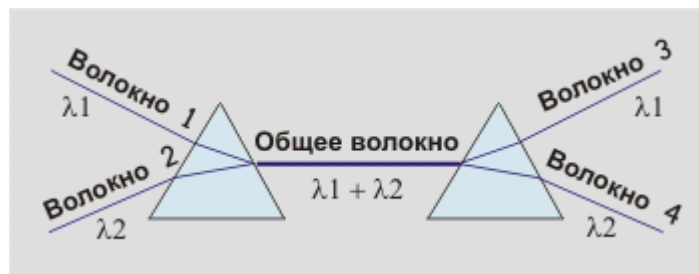


Рис. 17. Мультиплексирование с делением по длине волны в оптическом волокне



Рис. 18. Схема многоканального мультиплексирования с делением по длине волны в оптическом волокне.

TE – терминальное оборудование; L – лазер;
M/D – оптический мультиплексор-демультиплексор

В последнее время заметного удешевления оптических каналов удалось достичь за счет мультиплексирования с делением по длине волны. За счет этой техники удалось в 16...160 раз увеличить широкополосность канала из расчета на одно волокно. Схема мультиплексирования показана на рис. 17. На входе канала сигналы с помощью призмы объединяются в одно общее волокно. На выходе с помощью аналогичной призмы эти сигналы разделяются. Число волокон на входе и выходе может достигать 32 и более (вместо призм в последнее время используются миниатюрные зеркала, где применяется 2D-развертка (или 3D) по длине волны). Разработка технологии получения особо чистого материала волокон позволила расширить полосу пропускания одномодового волокна до 100 нм (для волокон с $\lambda = 1550$ нм). Полоса одного канала может лежать в диапазоне от 2 до 0,2 нм. Эта технология в самое ближайшее время расширит скорость передачи данных по одному волокну с 1 до 10 Тбит/с.

Структурированные кабельные сети. Стандарты, оборудование

Структурированная кабельная система – это кабельная система здания или группы зданий с кабелями, розетками, распределителями этажей, зданий и групп зданий. Задача структурированной кабельной системы – удовлетворение потребностей всех потенциальных пользователей системы на весь срок существования здания без переделки или расширения кабельной сети.

Благодаря такому подходу к инфраструктуре здания, особенно на стадии проектирования структурированной кабельной сети, возможно создание интегрированной системы, полностью прозрачной для пользователей и не зависящей от используемых приложений.

- СКС обеспечивает работу нескольких поколений компьютерных сетей;
- интерфейсы СКС позволяют подключать любое оборудование локальных сетей и речевых приложений;
- СКС реализует большой диапазон скорости передачи данных от 100 Кбит/сек речевых приложений до 10 Гбит/сек информационных приложений;
- администрирование СКС сокращает трудозатраты обслуживания локальной сети благодаря простоте эксплуатации;
- компьютерная сеть допускает одновременное использование разнотипных сетевых протоколов;
- стандартизация плюс конкуренция рынка СКС обеспечивают снижение цен комплектующих;
- локальная сеть позволяет реализовать свободу перемещения пользователей без изменения персональных данных (адресов, телефонных номеров, паролей, прав доступа, классов обслуживания);

- администрирование СКС обеспечивает прозрачность компьютерной и телефонной сети – все интерфейсы СКС промаркированы и документированы. Работа организации не зависит от сотрудника-монополиста соединений телефонной сети.
- Надежная долговечная СКС является фундаментом локальной сети. Однако всякое достоинство имеет обратную сторону. Стандарты СКС рекомендуют избыточность количественных параметров системы, что влечет существенные единовременные затраты.
- В самом общем случае СКС включает в себя три подсистемы: внешних магистралей, внутренних магистралей и горизонтальную.

Подсистема внешних магистралей, или, по терминологии некоторых СКС европейских производителей, первичная подсистема, состоит из внешних магистральных кабелей между кроссовой внешних магистралей и кроссовых зданий, коммутационного оборудования в этих служебных помещениях, к которому подключаются внешние коммутационные кабели, и коммутационных шнуров и/или перемычек в кроссовой внешних магистралей. Подсистема внешних магистралей является основой для построения сети связи между компактно расположенными на одной территории зданиями. Если СКС устанавливается автономно только в одном здании, то подсистема внешних магистралей отсутствует. Подсистема внешних магистралей чаще всего имеет топологию «кольцо» или «двойное кольцо».

Подсистема внутренних магистралей, называемая также вертикальной или вторичной подсистемой, содержит положенные между кроссовой здания и кроссовыми этажей внутренние магистральные кабели, подключенное к ним коммутационное оборудование в перечисленных кроссовых помещениях, а также коммутационные шнуры и/или перемычки в кроссовой здания. Кабели подсистемы внутренних магистралей связывают между собой отдельные этажи здания и/или пространственно разнесенные помещения в пределах одного здания. Если СКС обслуживает один этаж, то подсистема внутренних магистралей может отсутствовать.

Горизонтальная, или третичная подсистема образована внутренними горизонтальными кабелями между кроссовой этажа и информационными розетками рабочих мест, самими информационными розетками, коммутационным оборудованием в кроссовой этажа, к которому подключены горизонтальные кабели, и коммутационными шнурами и/или перемычками в кроссовой этажа. В составе горизонтальной проводки допускается использование одной точки перехода – переход с одного типа кабеля на другой, например, переход со стандартно используемого для прокладки в коробах четырехпарного симметричного кабеля на плоский для прокладки под ковровыми покрытиями с эквивалентными передаточными характеристиками. Горизонтальная подсистема имеет топологию типа «звезда», в которой каждая информационная розетка соединена своим кабелем

с этажным коммутационным оборудованием. При использовании в горизонтальном тракте медного кабеля требуется, чтобы все четыре пары были подключены к одной информационной розетке. Максимальная длина горизонтального проброса медного кабеля (экранированная или неэкранированная витая пара) не должна превышать 90 м.

Деление на перечисленные три подсистемы не зависит от вида или формы реализации сети, т. е. принципиально одинаково, например, и для офисной, и для производственной сети. Иногда из соображений удобства проектирования и эксплуатационного обслуживания применяется более мелкое дробление на отдельные подсистемы. Чаще всего встречаются подсистема рабочего места, подсистема оборудования, административная подсистема.

Подсистемой рабочего места называют соединение между информационной розеткой и оконечным оборудованием (компьютеры, телефоны, принтеры и т. д.). К ней относятся соединительные шнуры, адаптеры, а также устройства передачи, позволяющие подключать оконечные устройства к сети через информационную розетку.

Подсистема оборудования состоит из активного сетевого оборудования и компонентов, обеспечивающих подключение этого оборудования к коммутационным панелям. В качестве соединительных компонентов служат соединительные шнуры, разъемы и элементы их фиксации.

Административная подсистема состоит из соединительных проводов и шнуров, с помощью которых производится физическое соединение линий подсистем, подключенных к коммутационным панелям.

Базовые стандарты СКС. Базовыми стандартами структурированных кабельных систем являются: ANSI/TIA/EIA-568-A. Стандарт телекоммуникационных кабельных систем коммерческих зданий. Октябрь 1995 года; ISO/IEC 11801. Информационные технологии. Структурированная кабельная система для помещений заказчиков. Июль 1995 года; EN 50173:1995. Информационные технологии. Структурированные кабельные системы. Июль 1995 года.

Стандарт ANSI/TIA/EIA-568-A заменил ANSI/TIA/EIA-568, действовавший с июля 1991 года. В новую редакцию вошли дополнения, принятые в форме технических бюллетеней: EIA/TIA TSB 36, TIA/EIA TSB 40 и TIA/EIA TSB 40a. Бюллетени содержали параметры категорий 3, 4 и 5 для кабелей типа незащищенная витая пара (UTP) и разъемов. В стандарт добавлены спецификации Проекта TSB 53 защищенной кабельной системы с волновым сопротивлением 150 Ом, многомодового оптоволокна 62,5/125 мкм, одномодового волокна, ОВ разъемов и ограничений для оптоволоконной среды передачи. Системы категории 1 и 2 исключены из данного стандарта.

По содержанию и областям применения стандарты можно подразделить на три группы – проектирования, монтажа и эксплуатации.

Стандарты проектирования определяют среду передачи, параметры разъемов, линии и канала, в том числе предельно допустимые длины, способы подключения проводников (последовательность), топологию и функциональные элементы СКС. Приложения дополняют стандарты в смежных областях и подразделяются на нормативные (часть стандарта) и информационные (для сведения). К этой группе можно отнести также документы, определяющие параметры заземления, особенности СКС малых офисов и жилых зданий, централизованных систем и рекомендации по построению открытых офисов.

Стандарты монтажа определяют в широком смысле телекоммуникационные аспекты проектирования и строительства (комплекса) зданий. Учет телекоммуникационной инфраструктуры подразумевает наличие каналов для прокладки кабелей и помещений для их коммутации и размещения оборудования. В узком смысле под монтажом понимают работы по установке кабельных систем. Второй подход является более дорогостоящим. В данную группу включены также стандарты измерений, поскольку на практике качество монтажа СКС определяется с помощью измерений, которые могут завершать процесс создания систем.

Стандарты администрирования определяют правила документирования телекоммуникационной инфраструктуры и создаются на базе стандартов проектирования и монтажа.

Беспроводные каналы связи

Прокладка кабеля часто влечет за собой значительные затруднения:

- невозможность получить разрешение на прокладку кабеля, особенно в городских условиях;
- нет возможности получить в аренду телефонные линии от оператора, либо плохое качество связи по арендованным линиям;
- большие затраты средств и времени на прокладку новых коммуникаций, а также из-за высокой арендной платы за использование уже существующих коммуникаций;
- использование старых коммуникаций, которые из-за своей высокой загруженности уже не могут справиться с новым дополнительным трафиком.

Из всего вышесказанного следует, что в ряде случаев использование беспроводных соединений может быть экономически выгодным.

Преимущества беспроводных сетей передачи данных:

- возможная альтернатива использования арендованных линий;
- экономичность. Например, для организации временных сетей при частых структурных перестройках в организации, связанных с изменением конфигурации кабельной сети;

- объединение в сеть компьютеров там, где прокладка кабеля часто невозможна технически.

Если еще несколько лет назад первые беспроводные сетевые устройства только начинали появляться на рынке, то сейчас решения на базе беспроводного доступа предлагают все крупные системные интеграторы. Стоит оговориться, что речь идет о радиодоступе.

Большинство беспроводных устройств поддерживают конфигурацию Ethernet. С физической точки зрения, при организации беспроводной сети используются или схема точка – точка (point-to-point) или сети работают в режиме многоточечного доступа (point-to-multipoint). В первом случае связь обеспечивается между двумя удаленными друг от друга устройствами, во втором – в сеть объединяются несколько устройств.

Технологии и устройства, используемые при построении беспроводных сетей:

- сотовая связь с коммутацией каналов;
- пакетная радиосвязь;
- использование космических спутников (спутниковая связь);
- использование беспроводных мостов для соединения ЛВС;
- с использованием радиointерфейса;
- пейджинговая радиосвязь;
- с использованием лазерного оборудования;
- с использованием оптического оборудования и т. д.

В беспроводных каналах передача информации осуществляется на основе распространения радиоволн. В табл. 2.1 приведены сведения о диапазонах электромагнитных колебаний, используемых в беспроводных и оптических каналах связи.

Таблица 2.1

Диапазон	Длины волн, м	Частоты, ГГц	Применение
Дециметровый	1...0,1	0,3...3	Сотовые радиотелефоны, ТВ, спутниковая связь, РК в ЛВС*
Сантиметровый	0,1...0,01	3...30	Радиорелейные линии, РК в ЛВС, спутниковая связь
Миллиметровый	0,01...0,001	30...300	РК в ЛВС
Инфракрасный	$0,001...7,5 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^2...4 \cdot 10^5$	ВОЛС, WDM**
Видимый свет	$(7,5...4,0) \cdot 10^{-7}$	$(4,0...7,5) \cdot 10^5$	

*) РК в ЛВС – радиоканалы в локальных сетях и системах связи;

***) WDM – мультиплексирование с разделением каналов по длинам волн.

Для организации канала ПД в диапазонах дециметровых волн (902...928 МГц и 2,4...2,5 ГГц) требуется регистрация в Госсвязьнадзоре. Работа в диапазоне 5,725...5,85 ГГц пока лицензирования не требует.

Чем выше рабочая частота, тем больше емкость (число каналов) системы связи, но тем меньше предельные расстояния, на которых возможна прямая передача между двумя пунктами без ретрансляторов. Первая из причин и порождает тенденцию к освоению новых более высокочастотных диапазонов.

Радиоканалы входят необходимой составной частью в спутниковые и радиорелейные системы связи, применяемые в территориальных сетях, в сотовые системы мобильной связи, они используются в качестве альтернативы кабельным системам в локальных сетях и при объединении сетей отдельных офисов и предприятий в корпоративные сети. Во многих случаях применение радиоканалов оказывается более дешевым решением по сравнению с другими вариантами.

В территориальных сетях на региональном уровне часто используются *радиорелейные линии связи* (коммутация каналов, диапазон частот 15...23 ГГц, связь в пределах прямой видимости, что ограничивает дальность между соседними станциями – до 50 км при условии размещения антенн на строениях типа башен). Последовательность станций, являющихся ретрансляторами, позволяет передавать информацию на значительные расстояния.

Радиосвязь используется в корпоративных и локальных сетях, если затруднена прокладка других каналов связи. *Радиоканал* либо выполняет роль моста между подсетями (двухточечное соединение), либо является общей средой передачи данных в ЛВС по излагаемому далее методу МДКН/ОК (см. гл. 4), либо служит соединением между центральным и терминальными узлами в сети с централизованным управлением.

В первом случае (связь двух сетей) имеем двухточечное соединение с направленными антеннами, дальность в пределах прямой видимости (обычно до 15...20 км с расположением антенн на крышах зданий). Мост имеет два адаптера: один для формирования сигналов для радиоканала, другой – для кабельной подсети.

В случае использования радиоканала в качестве общей среды передачи данных в ЛВС сеть называют RadioEthernet (стандарт IEEE 802.11), она обычно используется внутри зданий. В состав аппаратуры входят приемопередатчики и антенны. Связь осуществляется на частотах от одного до нескольких гигагерц. Расстояния между узлами – несколько десятков метров.

В соответствии со стандартом IEEE 802.11 возможны два способа передачи двоичной информации в ЛВС, оба они имеют целью обеспечить защиту информации от нежелательного доступа.

Первый способ называется методом прямой последовательности (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum). В нем вводится избыточность – каждый бит данных представляется последовательностью из 11 элементов («чипов»). Эта последовательность создается по алгоритму, известному участникам связи, и потому может быть дешифрована при приеме. Избыточность повышает помехоустойчивость, что позволяет снизить требования к мощности передатчика, а для сохранения высокой скорости нужно расширять полосу пропускания. Так, в аппаратуре фирмы Aironet в диапазоне 2,4 ГГц имеются 4 канала шириной в 22 МГц.

Второй способ – метод частотных скачков (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum). В этом методе полоса пропускания делится на 79 поддиапазонов. Передатчик через каждые 20 мс переключается на новый поддиапазон, причем алгоритм изменения частот известен только участникам связи и может изменяться, что и затрудняет несанкционированный доступ к данным.

В варианте использования радиоканалов для связи центрального и периферийного узлов центральный пункт имеет ненаправленную антенну, а терминальные пункты при этом используют направленные антенны. Дальность связи составляет также десятки метров, а вне помещений – сотни метров. Пример многоточечной системы: ненаправленная антенна по горизонтали, угол 30 градусов по вертикали, 5,8 ГГц – к терминалам, 2,4 ГГц – к центральному узлу, до 62 терминалов, дальность – 80 м без прямой видимости. В системе RoomAbout связь на частоте 920 МГц гарантируется на расстоянии в 120 метров, предусмотрена защита от перехвата информации.

В условиях высоких уровней электромагнитных помех иногда используют *инфракрасные каналы связи*. В последнее время их стали применять не только в цехах, но и в офисах, где лучи можно направлять над перегородками помещения.

Поставкой оборудования для организации корпоративных и локальных беспроводных сетей занимается ряд фирм, в том числе известные фирмы Lucent Technologies, Aironet, Multipoint Network.

В оборудование беспроводных каналов ПД входят:

Сетевые адаптеры и радиомодемы, поставляемые вместе с комнатными антеннами и драйверами. Различаются способами обработки сигналов, характеризуются частотой передачи, пропускной способностью, дальностью связи.

Направленные и ненаправленные антенны, антенные усилители, и вспомогательное оборудование типа кабелей, полосовых фильтров, грозозащитников и т. п.

Спутниковые каналы передачи данных. Спутники в системах связи могут находиться на геостационарных (высота 36 тысяч км) или низ-

ких орбитах. При геостационарных орбитах заметны задержки на прохождение сигналов (туда и обратно около 500 мс). Возможно покрытие поверхности всего земного шара с помощью четырех спутников. В низкоорбитальных системах обслуживание конкретного пользователя происходит попеременно разными спутниками. Чем ниже орбита, тем меньше площадь покрытия и, следовательно, нужно увеличивать число или наземных станций, или спутников (обычно требуется несколько десятков спутников).

Структура спутниковых каналов передачи данных может быть проиллюстрирована на примере широкоизвестной системы VSAT (Very Small Aperture Terminal). Наземная часть системы представлена совокупностью комплексов, в состав каждого из них входят центральная станция (ЦС) и абонентские пункты (АП). Связь ЦС со спутником происходит по радиоканалу (пропускная способность 2 Мбит/с) через направленную антенну диаметром 1...3 м и приемопередающую аппаратуру. АП подключаются к ЦС по схеме «звезда» с помощью многоканальной аппаратуры (обычно это аппаратура T1 или E1, хотя возможна и связь через телефонные линии) или по радиоканалу через спутник. Те АП, которые соединяются по радиоканалу (это подвижные или труднодоступные объекты), имеют свои антенны, и для каждого АП выделяется своя частота. ЦС передает свои сообщения широкоэвещательно на одной фиксированной частоте, а принимает на частотах АП. Арендная плата за соединение «точка-точка» через VSAT со скоростью 64 кбит/с составляет около 3900 долл. в месяц, что для больших расстояний дешевле, чем аренда выделенной наземной линии.

Примерами российских систем спутниковой связи с геостационарными орбитами могут служить системы Инмарсат и Runnet. Так, в Runnet применяются геостационарные спутники «Радуга». Один из них, с точкой стояния 85 градусов в.д., охватывает почти всю территорию России. В качестве приемопередающей аппаратуры (ППА) используются станции «Кедр-М» или «Калинка», работающие в сантиметровом диапазоне волн (6,18...6,22 ГГц и 3,855...3,895 ГГц соответственно). Диаметр антенн 4,8 м. Структура ЦС представлена на рис. 19.

Примеры сетей с низкоорбитальными спутниками – система глобальной спутниковой телефонной связи «Глобалстар». 52 низкоорбитальных (высота 1400 км) спутников охватывают весь земной шар. Каждая станция (наземная) имеет одновременно связь с тремя спутниками. У спутника шесть сфокусированных лучей по 2800 дуплексных каналов каждый. Обеспечиваются телефонная связь для труднодоступных районов, навигационные услуги, определение местонахождения подвижных объектов. В российской системе Глонасс – 24 спутника.

Системы мобильной связи. Системы мобильной связи осуществляют передачу информации между пунктами, один из них или оба являются подвижными. Характерным признаком систем мобильной связи является применение радиоканала. К технологиям мобильной связи относятся пейджинг, твейджинг, сотовая телефония, транкинг, для мобильной связи используются также спутниковые каналы.

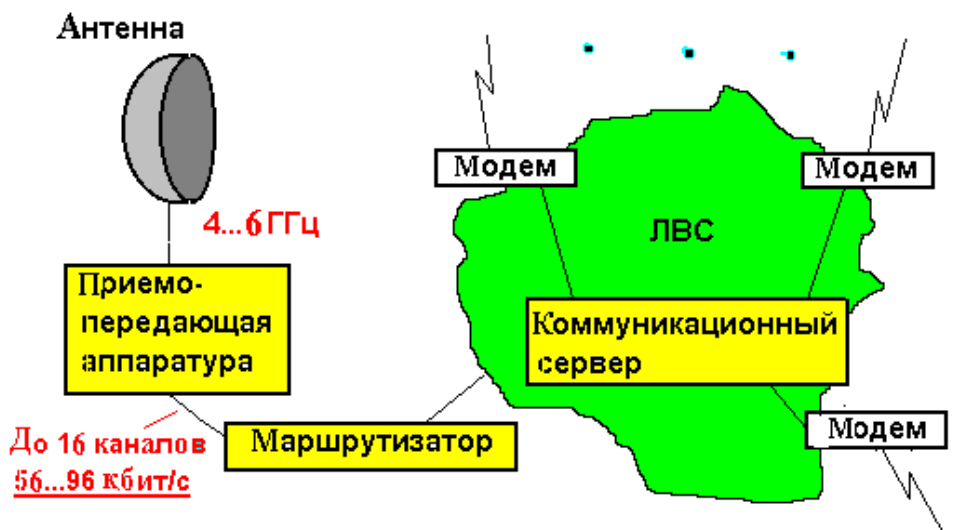


Рис. 19. Схема спутниковой связи

Пейджинг – система односторонней связи, при которой передаваемое сообщение поступает на пейджер пользователя, извещая его о необходимости предпринять то или действие или просто информируя его о тех или иных текущих событиях. Это наиболее дешевый вид мобильной.

Твейджинг – это двухсторонний пейджинг. В отличие от пейджинга возможно подтверждение получения сообщения и даже проведение некоторого подобия диалога.

Сотовые технологии обеспечивают телефонную связь между подвижными абонентами (ячейками). Связь осуществляется через посредство базовых (стационарных) станций, выполняющих коммутирующие функции.

Одна из первых систем сотовой связи NMT-450 появилась в Скандинавии (NMT – Nordic Mobile Telephone). В России она развивается с 1991 г., на ее базе создана федеральная сеть сотовой связи СОТЕЛ.

NMT-450 – система аналоговая, работающая в частотном диапазоне 453...468 МГц. Сравнительно низкие частоты обуславливают повышенную дальность прямой связи (несколько десятков километров до подвижного объекта от базовой станции) и потому в России с ее большой территорией эта система получила широкое распространение в районах с невысокой плотностью населения. Однако на этих частотах слабее

помехоустойчивость, труднее выполнить защиту от подслушивания и, как уже сказано выше, остро ощущается дефицит числа каналов.

Поэтому в городах в настоящее время более распространены цифровые системы сотовой связи.

Диапазон скоростей в цифровых системах сотовой связи довольно широк – от 19,2 кбит/с (в американском стандарте CDPD – Cellular Digital Packet Data) до 1,23 Мбит/с (в другом стандарте CDMA – Code Division Multiple Access). Типичный радиус действия 10...12 км.

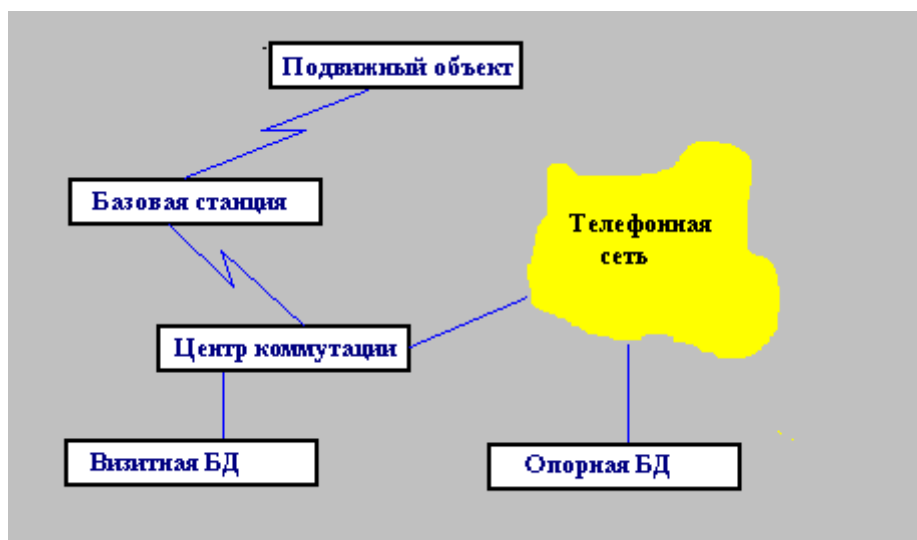


Рис. 20. Схема сотовой телефонной связи

Одной из наиболее широко распространенных технологий мобильной связи (в том числе и в России) является технология, соответствующая стандарту для цифровых сетей сотовой связи GSM (Global System for Mobile Communications), основанному на TDMA. GSM может поддерживать интенсивный трафик (270 кбит/с), обеспечивает роуминг (т. е. автоматическое отслеживание перехода мобильного пользователя из одной соты в другую), допускает интеграцию речи и данных и связь с сетями общего пользования. Используются разновидности: сотовая связь GSM-900 в частотном диапазоне 900 МГц (более точно 890...960 МГц), и микросотовая связь GSM-1800 (DCS-1800) в диапазоне 1800 МГц (1710...1880 МГц). Название микросотовая обусловлено большим затуханием и, следовательно, меньшей площадью соты. Однако увеличение числа каналов выгодно при высокой плотности абонентов. Мощность излучения мобильных телефонов – 1...2 Вт.

Архитектура GSM-системы аналогична архитектуре рис. 20. В каждой соте действует базовая станция BTS (Base Transceiver Station), обеспечивающая прием и передачу радиосигналов абонентам. BTS имеет диапазон частот, отличный от диапазонов соседних сот. Мобильная

ячейка прослушивает соседние BTS и сообщает контроллеру базовых станций (BSC – Base Station Controller) сведения о качестве приема с тем, чтобы BSC мог своевременно переключить ячейку на нужную BTS. Центр коммутации (MSC – Mobile services Switching Centre) осуществляет коммутацию и маршрутизацию, направляя вызовы нужному абоненту, в том числе во внешние сети общего пользования. В базе данных хранятся сведения о местоположении пользователей, технических характеристиках мобильных станций, данные для идентификации пользователей.

В перспективе предполагается использовать широкополосный В-ISDN на основе стандарта UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems) с глобальным роумингом.

Мобильная связь для предприятий (т. е. ведомственная или профессиональная) может отличаться от сотовой связи индивидуальных пользователей. Такую ведомственную связь называют *транкинговой* (или *транковой*). Для транкинговой связи характерны следующие особенности:

- связь внутри некоторой группы (бригады) и групповой вызов от центра ко всем членам группы;
- наличие приоритетности;
- скорость соединения должна быть выше, чем в обычных сотовых системах;
- возможность выхода в телефонную сеть общего пользования имеет меньшее значение, во многих случаях она вообще может отсутствовать;
- преимущественная передача данных, в некоторых случаях голосовая связь не нужна; чаще используется полудуплексная передача.

В результате растет оперативность связи при уменьшенной цене. Наиболее распространены два протокола транкинговой связи: аналоговый MPT-1327 и цифровой TETRA.

В иерархической структуре системы транкинговой связи используются базовые станции (BS) и центры коммутации (DXT). BS обслуживает одну зону и имеет от одной до нескольких несущих частот, отличных от частот соседних зон. В TETRA применяется метод TDMA с несколькими слотами на каждой из несущих. Так, в системе TETRA Nokia используется 64 несущих и 256 радиоканалов. В системах, работающих по протоколу MPT-1327, обычно используется несколько частотных поддиапазонов в пределах 80...800 МГц с выделением каналов шириной в 12,5 кГц. Очевидно, что чем меньше частота, тем больше площадь охватываемой зоны, но меньше число каналов.

МЕТОДЫ ДОСТУПА К ПЕРЕДАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Технологии локальных сетей

Технология простого Ethernet. В широком смысле под словом Ethernet понимают любой из вариантов этой технологии. В более узком смысле Ethernet – это сетевой стандарт, основанный на экспериментальной сети Ethernet Network, разработанной и реализованной фирмой Херох в 1975 г. В 1980 г. фирмы DEC, Intel и Херох совместно разработали и опубликовали стандарт Ethernet версии II для сети, построенной на основе коаксиального кабеля, который стал последней версией фирменного стандарта Ethernet. Поэтому фирменную версию стандарта Ethernet называют стандартом Ethernet DIX или Ethernet II.

На основе стандарта Ethernet DIX был разработан стандарт IEEE 802.3, который во многом совпадает со своим предшественником. Различие этих стандартов состоит в следующем: в стандарте IEEE 802.3 разные уровни MAC и LLC, в оригинальном Ethernet оба эти уровня объединены в единый канальный уровень. В Ethernet DIX определяется протокол тестирования конфигурации (Ethernet Configuration Test Protocol), который отсутствует в IEEE 802.3. Несколько отличается и формат кадра, хотя минимальные и максимальные размеры кадров в этих стандартах совпадают. Часто для того, чтобы отличить Ethernet, определенный стандартом IEEE, и фирменный Ethernet DIX, первый называют технологией 802.3, а за фирменным оставляют название Ethernet без дополнительных обозначений.

В зависимости от типа физической среды стандарт IEEE 802.3 имеет модификации: 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, 10Base-FL, 10Base-FB. Для передачи двоичной информации по кабелю для всех вариантов физического уровня технологии Ethernet, обеспечивающих пропускную способность 10 Мбит/с, используется манчестерский код.

Все виды стандартов Ethernet основаны на одинаковом методе разделения среды передачи данных – метод доступа CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) и обеспечивают скорость передачи по шине 10 Мбит/с. По-русски этот метод доступа называется МДКН/ОС (множественный доступ с контролем носителя и обнаружением столкновений).

Протокол CSMA/CD, используемый в сетях Ethernet для разрешения конфликтов при получении доступа к среде передачи, налагает ряд ограничений на устройства и кабельную систему сетей.

- В сегменте (домен коллизий) не может находиться более 1024 устройств (DTE). Домен коллизий (collision domain) – это часть се-

ти Ethernet, все узлы которой распознают коллизию независимо от того, в какой части этой сети коллизия возникла. Сеть Ethernet, построенная на повторителях, всегда образует один домен коллизий. Домен коллизий соответствует одной разделяемой среде. Мосты, коммутаторы и маршрутизаторы делят сеть Ethernet на несколько доменов коллизий.

- В сетях на основе коаксиальных кабелей вводятся дополнительные ограничения на число станций и протяженность кабелей.
- Время обнаружения коллизии не должно превышать времени на передачу 575 бит.
- В сетях Ethernet используется множественный метод доступа к среде, позволяющий вести передачу в каждый момент только одной станции. При попытке двух или более станций начать передачу одновременно возникает конфликт доступа к среде – столкновение (коллизия). В этом случае все конфликтующие станции должны прервать передачу данных и возобновлять попытки по истечении случайного интервала времени.

Хотя в сетях Ethernet коллизии являются нормальным явлением, они увеличивают задержку и приводят к излишнему расходу полосы пропускания среды. Пакеты или их фрагменты, переданные во время конфликта, должны быть отброшены.

С ростом уровня загрузки сети (расход полосы), вероятность конфликтов возрастает. В большой сети на обнаружение коллизии, оповещение об этом сигналом «затора» и разрешение конфликта затрачивается достаточно много времени. Кроме того, на разрешение конфликтов расходуется часть полосы пропускания сетевой среды.

В соответствии со спецификациями Ethernet станция должна узнавать о возникновении конфликта до завершения передачи пакета. Поскольку длина минимального пакета с преамбулой составляет 576 бит, на обнаружение конфликта в любом случае должно затрачиваться меньшее время.

Уменьшение интервала между пакетами на всем пути передачи не должно превышать времени на передачу 49 бит.

Промежуток времени между окончанием одного пакета и началом следующего, равный 9,6 мкс (IPG – inter packet gap), позволяет ясно различать отдельные пакеты. При передаче пакетов через повторители этот промежуток может уменьшаться. Повторитель восстанавливает синхронизацию сигналов (retiming) для устранения искажений при передаче через сетевую среду. В общем случае при восстановлении длина пакетов увеличивается за счет включения в него дополнительных битов синхронизации. Увеличение длины пакета происходит за счет сокращения IPG.

При прохождении пакета через несколько повторителей IPG может сильно уменьшиться. При слишком малом зазоре между пакетами принявшее эти пакеты устройство DTE может не успеть обработать полученный пакет к моменту прихода следующего. Исходя из этого, ограничивается протяженность самого плохого пути в сегменте так, чтобы изменение длины пакета на этом пути не превышало 49 бит. Для преодоления перечисленных ограничений используется сегментация – деление сети на меньшие фрагменты, связанные с помощью мостов, маршрутизаторов или коммутаторов.

Для проверки соответствия сети требованиям стандарта IEEE 802.3 необходимо начертить схему локальной сети, включив в нее все устройства с указанием длины и типа кабеля для каждого соединения, и убедиться в выполнении всех перечисленных ниже требований:

- в сети нет пути между двумя устройствами, содержащего более 5 повторителей;
- в сети не более 1024 станций (повторители не считаются);
- сеть содержит только компоненты, соответствующие стандарту IEEE 802.3, а хост-модули, концентраторы и трансиверы используют только кабели AUI, 10Base-T, FOIRL, 10Base-F, 10Base-5 или 10Base-2;
- оптические соединения имеют достаточно малое затухание, а число разъемов соответствует требованиям IEEE 802.3j;
- в сети отсутствуют соединения, превышающие предельно допустимую длину.

Приведенные способы оценки просты, но недостаточно точны. Некоторые конфигурации, не соответствующие перечисленным требованиям, оказываются совместимыми с требованиями IEEE 802.3.

Для обеспечения соответствия требованиям IEEE 802.3 в сети должны одновременно выполняться два условия:

- задержка детектирования коллизий: продолжительность пути между любыми двумя точками не должна превышать 575 бит;
- межпакетный интервал: изменение длины пакета не должно превышать 49 бит.

Для обеспечения синхронизации станций при реализации процедур доступа CSMA/CD и надежного распознавания станциями коллизий в стандарте 10Base-T определено максимально число концентраторов между любыми двумя станциями сети – 4. Это правило носит название «правило 4 хабов». Очевидно, что если между любыми двумя узлами сети не должно быть больше 4 повторителей, то максимальный диаметр сети 10Base-T составляет $5 \times 100 = 500$ м. На рис. 21 представлена такая структура, образующая общую область столкновений – один домен коллизий.

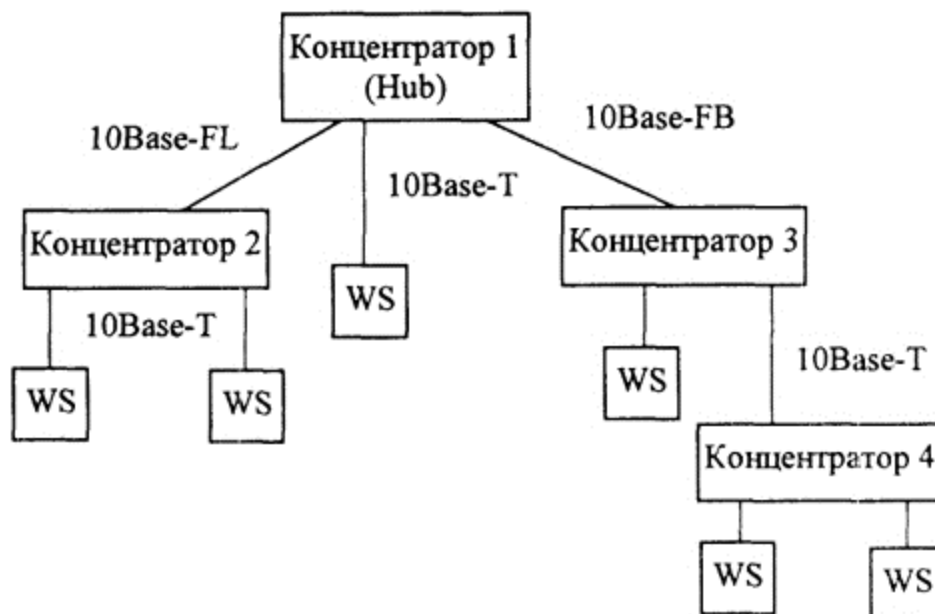


Рис. 21. Иерархическое соединение концентраторов Ethernet

При создании сети 10Base-T с большим числом станций концентраторы можно соединять друг с другом иерархическим способом, образуя древовидную структуру.

В табл. 3.2. представлены четыре основные типы кадров Ethernet.

Таблица 3.2

Форматы кадров простого Ethernet

Ethernet II	Ethernet 802.3	Ethernet 802.2	Ethernet SNAP
$P(7)^{\downarrow}$	$P(7)$	$P(7), SFD(1)$	$P(7), SFD(1)$
$SFD(1)$	$SFD(1)$	$DA(6)$	$DA(6), SA(6)$
$DA(6)$	$DA(6)$	$SA(6)$	$Length(2)$
$SA(6)$	$SA(6)$	$Length(2)$	$DSAP(1)$
$Type(2)$	$Length(2)$	$DSAP(1)$	$SSAP(1)$
Пакет	$DSAP(1)$	$SSAP(1)$	$Control(1)$
(46-1500)	Пакет (46 – 1500)	$Control(1)$	$OUI(3), ID(2)$
		Пакет	Пакет
$FCS(4)$	$FCS(4)$	$FCS(4)$	$FCS(4)$

Рассмотрим специфичные поля каждого типа кадра.

Ethernet II, разработанный первым для сетей Ethernet, дополнительно содержит поле *Type* – оно определяет тип протокола сетевого уровня, пакет которого переносится этим кадром (8137h – для протокола IPX, 0800h – для протокола IP и т. д.). Все идентификаторы имеют значения старше 05DCh.

Ethernet 802.3. Этот тип кадра создан фирмой Novell. Дополнительно содержит поле *Length* – длина передаваемого пакета. Поскольку в таком кадре отсутствует поле с типом протокола, то он может быть использован только для переноса IPX. Заголовок пакета IPX следует непосредственно за полем длины, поэтому первое поле пакета (поле *Checksum*) содержит значение FFFFh.

Ethernet 802.2, разработанный подкомитетом IEEE 802.3 в результате стандартизации сетей Ethernet, кадр содержит дополнительные поля:

Length – длина передаваемого пакета;

DSAP (Destination Service Access Point) – тип протокола сетевого уровня станции-получателя (E0h – для IPX),

SSAP (Source Service Access Point) – тип протокола сетевого уровня станции-отправителя,

Control – номер сегмента; используется при разбиении длинных IP-пакетов на более мелкие сегменты; для пакетов IPX это поле всегда содержит значение 03h (обмен нумерованными дейтаграммами).

Ethernet SNAP, являющийся модернизацией кадра Ethernet 802.2, содержит еще два поля: OUI (Organizational Unit Identifier) и ID, которые определяют тип протокола верхнего уровня SNAP Protocol ID.

Каждая станция начинает принимать кадр с преамбулы P. Затем сравнивает значение адреса DA со своим адресом. Если адреса одинаковы или пришел широковещательный кадр, или задана специальная программа обработки, то кадр копируется в буфер станции. Если нет, то кадр игнорируется.

Идентификация типа кадра сетевым адаптером осуществляется по следующему алгоритму:

- если за полем SA следует значение старше 05DCh, то это кадр Ethernet II,
- если за полем Length записан идентификатор FFFFh, то это кадр Ethernet 802.3,
- если за полем Length стоит идентификатор AAh, то это кадр Ethernet SNAP, иначе – это кадр Ethernet 802.2.

Технология Fast Ethernet. Технология Fast Ethernet является эволюционным развитием классической технологии Ethernet. ее основными достоинствами являются:

- увеличение пропускной способности сегментов сети до 100 Мбит/с;
- сохранение метода случайного доступа Ethernet;
- сохранение звездообразной топологии сетей и поддержка традиционных сред передачи данных – витой пары и оптоволоконного кабеля.

Спецификация Fast Ethernet (802.3 м), не является самостоятельным стандартом, а представляет собой дополнение к существующему стандарту 802.3 в виде глав с 21 по 30. Отличия Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне (рис. 22).



Рис. 22. Отличия стека протоколов 100Base-T от стека протоколов 10Base-T

Более сложная структура физического уровня технологии Fast Ethernet вызвана тем, что в ней используется три варианта кабельных систем:

- оптоволокно – 100Base-FX;
- 2-парная витая пара категории 5 – 100Base-TX;
- 4-парная витая пара категории 3 – 100Base-T4.

По сравнению с вариантами физической реализации Ethernet, здесь отличия каждого варианта от других глубже – меняется и количество проводников, и методы кодирования. А так как физические варианты Fast Ethernet создавались одновременно, а не эволюционно, как для сетей Ethernet, то имелась возможность детально определить неизменяемые от варианта к варианту подуровни физического уровня и остальные подуровни, специфические для каждого варианта.

Подуровни LLC и MAC в стандарте Fast Ethernet не претерпели изменений. Напомним кратко их функции.

Подуровень LLC (Logical Link Control) обеспечивает интерфейс протокола Ethernet с протоколами вышележащих уровней, например, с IP или IPX. Кадр LLC (Ethernet 802.2 без полей P, SFD, FCS по табл. 3.2), вкладывается в кадр MAC, что позволяет за счет полей DSAP и SSAP идентифицировать адрес сервисов назначения и источника соответственно. Например, при вложении в кадр LLC пакета IPX, значения как DSAP, так и SSAP должны быть равны E0. Поле управления кадра LLC позволяет реализовать процедуры обмена данными трех типов.

Процедура 1-го типа определяет обмен данными без предварительного установления соединения и повторной передачи кадров в случае обнаружения ошибочной ситуации, т. е. является процедурой дейтаграммного типа. Именно этот тип процедуры и используется во всех практических реализациях Ethernet. Поле управления для этого типа процедур имеет значение 03, что определяет все кадры как нумерованные.

Процедура 2-го типа определяет режим обмена с установлением соединений, нумерацией кадров, управлением потоком кадров и повторной передачей ошибочных кадров. В этом режиме протокол LLC аналогичен протоколу HDLC. В локальных сетях Ethernet такой режим используется редко.

Процедура 3-го типа определяет режим передачи данных без установления соединения, но с получением подтверждения о доставке информационного кадра адресату. Только после этого может быть отправлен следующий информационный кадр.

Существует расширение формата кадра LLC, называемое SNAP (Subnetwork Access Protocol). В случае применения расширения SNAP в поля DSAP и SSAP записывается значение AA, тип кадра по-прежнему равен 03, а для обозначения типа протокола, вложенного в поле данных, используются следующие 4 байта, причем байты идентификатора организации (OUI) всегда равны 00 (за исключением протокола Apple Talk), а последний байт (ID) содержит идентификатор типа протокола (например, 0800 для IP).

Заголовки LLC или LLC/SNAP используют мосты и коммутаторы для трансляции протоколов канального уровня по стандарту IEEE 802.2Н.

Подуровень управления доступом к среде MAC (*Media Access Control*) ответственен за формирование кадра Ethernet, получение доступа к разделяемой среде передачи данных и отправку с помощью физического уровня кадра по физической среде узлу назначения.

Разделяемая среда Ethernet, независимо от ее физической реализации (коаксиальный кабель, витая пара или оптоволокно с повторителями), всегда находится в одном из трех состояний: свободна, занята, коллизия. Состояние занятости соответствует нормальной передаче кадра одним из узлов сети. Состояние коллизии возникает при одновременной передаче кадров более, чем одним узлом сети.

MAC-подуровень каждого узла сети получает от физического уровня информацию о состоянии разделяемой среды. Если она свободна и у MAC-подуровня имеется кадр для передачи, то он передает его через физический уровень в сеть. Физический уровень одновременно с побитной передачей кадра следит за состоянием среды. Если за время передачи кадра коллизия не возникла, то кадр считается переданным. Если же за это время коллизия была зафиксирована, то передача кадра прекращается, и в сеть выдается специальная последовательность из 32 бит (так называемая *jam*-последовательность или сигнал «затора»), которая должна помочь однозначно распознать коллизию всеми узлами сети.

После фиксации коллизии MAC-подуровень делает случайную паузу, а затем вновь пытается передать данный кадр. Интервал, из которого выбирается случайная величина паузы, возрастает с каждой попыткой (до 10-й), так что при большой загрузке сети и частом возникновении коллизий происходит притормаживание узлов. Максимальное число попыток передачи одного кадра – 16, после чего MAC-подуровень оставляет данный кадр и начинает передачу следующего кадра, поступившего с LLC-подуровня.

MAC-подуровень узла приемника, получающего биты кадра от своего физического уровня, проверяет поле адреса кадра, и если адрес совпадает с его собственным, то он копирует кадр в свой буфер. Затем он проверяет, не содержит ли кадр специфические ошибки: по контрольной сумме, по максимально допустимому размеру кадра, по минимально допустимому размеру кадра, по неверно найденным границам байт. Если кадр корректен, то его поле данных передается на LLC-подуровень, если нет – то отбрасывается.

Форматы кадров технологии Fast Ethernet не отличаются от форматов кадров технологий простого Ethernet. Все времена передачи кадров

Fast Ethernet в 10 раз меньше соответствующих времен технологии простого Ethernet:

- битовый интервал составляет 10 нс вместо 100 нс;
- межкадровый интервал (IPG) – 0,96 мкс вместо 9,6 мкс.

Спецификации физического уровня. Для технологии Fast Ethernet разработаны различные варианты физического уровня, отличающиеся не только типом кабеля и электрическими параметрами импульсов, как это сделано в технологии 10 Мбит/с Ethernet, но и способом кодирования сигналов и количеством используемых в кабеле проводников. Поэтому физический уровень Fast Ethernet имеет более сложную структуру, чем классический Ethernet (рис. 23).

Физический уровень состоит из трех подуровней:

- уровень согласования (reconciliation sublayer);
- независимый от среды интерфейс (МПИ – Media Independent Interface);
- устройство физического уровня (PHY – Physical Layer Device).

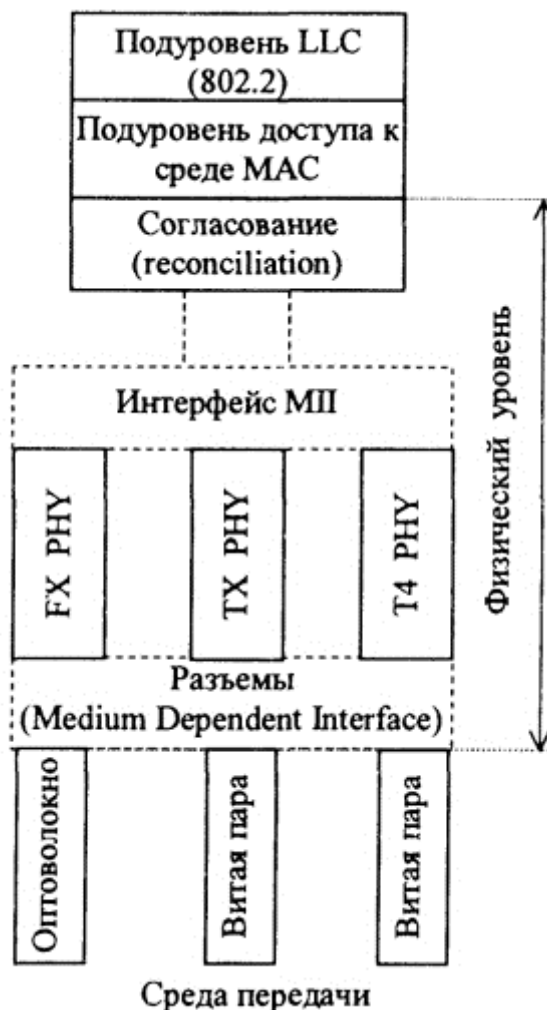


Рис. 23. Структура физического уровня Fast Ethernet

Устройство физического уровня РНУ обеспечивает кодирование данных, поступающих от МАС-подуровня для передачи их по кабелю определенного типа, синхронизацию передаваемых по кабелю данных, а также прием и декодирование данных в узле-приемнике. Интерфейс МП поддерживает независимый от используемой физической среды способ обмена данными между МАС-подуровнем и подуровнем РНУ. Этот интерфейс аналогичен по назначению интерфейсу АUI классического Ethernet за исключением того, что интерфейс АUI располагался между подуровнем физического кодирования сигнала (для любых вариантов кабеля использовался одинаковый метод физического кодирования – манчестерский код) и подуровнем физического присоединения к среде, а интерфейс МП располагается между МАС-подуровнем и подуровнями кодирования сигнала, которых в стандарте Fast Ethernet три: FX, TX и T4.

Подуровень согласования нужен для того, чтобы согласовать работу подуровня МАС с интерфейсом МП

Интерфейс МП. Существует два варианта реализации интерфейса МП: внутренний и внешний. При внутреннем варианте микросхема, реализующая подуровни МАС и согласования, с помощью интерфейса МП соединяется с микросхемой трансивера внутри одного и того же конструктива, например, платы сетевого адаптера или модуля маршрутизатора. Микросхема трансивера реализует все функции устройства РНУ.

Внешний вариант соответствует случаю, когда трансивер вынесен в отдельное устройство и соединен кабелем МП через разъем МП с микросхемой МАС-подуровня. Разъем МП в отличие от разъема АUI имеет 40 контактов, максимальная длина кабеля МП составляет 1 м. Сигналы, передаваемые по интерфейсу МП, имеют амплитуду 5 В.

Физический уровень 100Base-FX – многомодовое оптоволокно. Физический уровень РНУ ответственен за прием данных в параллельной форме от МАС-подуровня, трансляцию их в один (TX или FX) или три последовательных потока бит с возможностью побитной синхронизации и передачу их через разъем на кабель.

Аналогично, на приемном узле уровень РНУ должен принимать сигналы по кабелю, определять моменты синхронизации бит, извлекать биты из физических сигналов, преобразовывать их в параллельную форму и передавать подуровню МАС.

Между спецификациями РНУ FX и РНУ TX есть много общего, поэтому общие для двух спецификаций свойства будут даваться под обобщенным названием РНУ FX/TX.

Структура физического уровня РНУ FX включает в себя следующие подуровни:

- физического кодирования 4B/5B – PCS;

- физического присоединения PMA;
- зависимости от физической среды PMD.

Спецификация 100Base-FX определяет работу протокола Fast Ethernet по многомодовому оптоволокну в полудуплексном и полнодуплексном режимах на основе хорошо проверенной схемы кодирования и передачи оптических сигналов, использующейся уже на протяжении ряда лет в стандарте FDDL. Как и в стандарте FDDI, каждый узел соединяется с сетью двумя оптическими волокнами, идущими от приемника (*Rx*) и от передатчика (*Tx*).

В технологии классического Ethernet для представления данных при передаче по кабелю используется манчестерское кодирование. В спецификацию РНУ FX/ТХ без изменений перенесен метод кодирования 4В/5В, определенный в стандарте FDDI. При этом методе каждые 4 бита данных MAC-подуровня (называемых символами) представляются 5 битами потенциального кода. Потенциальные коды обладают по сравнению с манчестерскими кодами более узкой полосой спектра сигнала, а, следовательно, предъявляют меньшие требования к полосе пропускания кабеля. Кроме того, кодом 4В/5В обеспечивается синхронизация приемника с передатчиком. Коды 4В/5В построены так, что гарантируют не более трех нулей подряд при любом сочетании бит в исходной информации.

Так как исходные биты MAC-подуровня должны передаваться со скоростью 100 Мбит/с, то наличие одного избыточного бита вынуждает передавать биты результирующего кода 4В/5В со скоростью 125 Мбит/с, т. е. межбитовое расстояние в устройстве РНУ составляет 8 нс.

Поскольку из 32 возможных комбинаций кода 4В/5В для кодирования исходных данных нужно только 16, то остальные 16 комбинаций используются в служебных целях. Наличие служебных символов позволило применить в спецификациях FX/ТХ схему непрерывного обмена сигналами между передатчиком и приемником и при свободном состоянии среды, что отличает их от спецификации 10Base-Т, когда незанятое состояние среды обозначается полным отсутствием на ней импульсов информации. Для обозначения незанятого состояния среды используется служебный символ Idle (11111), который постоянно циркулирует между передатчиком и приемником, поддерживая их синхронизм и в периодах между передачами информации, а также позволяя контролировать физическое состояние линии.

Существование запрещенных комбинаций символов позволяет отбраковывать ошибочные символы, что повышает устойчивость работы сетей с РНУ FX/ТХ. Для отделения кадра Ethernet от символов Idle используется комбинация символов Start Delimiter (пара символов JK), а после завершения кадра перед первым символом Idle вставляется символ T.

После преобразования 4-битовых порций MAC-кодов в 5-битовые порции PHY их необходимо представить в виде оптических или электрических сигналов в кабеле, соединяющем узлы сети. Спецификации PHY FX и PHY TX используют для этого различные методы физического кодирования (NRZI и MLT-3 соответственно). Эти же методы определены в стандарте FDDI для передачи сигналов по оптоволокну (спецификация PMD) и витой паре (спецификация TP-PMD).

Физический уровень 100Base-TX – двухпарная витая пара. Основные отличия этого уровня от спецификации PHY FX состоят в использовании метода MLT-3 для передачи сигналов 5-битовых порций кода 4В/5В по витой паре и наличии функции автопереговоров (Auto-negotiation) для выбора режима работы порта. Метод MLT-3 использует потенциальные сигналы двух полярностей для представления 5-битовых порций информации.

Кроме применения метода MLT-3, спецификация PHY TX отличается от спецификации PHY FX тем, что в ней предусмотрена пара скремблер/дескремблер (scrambler/descrambler), как это определено в спецификации ANSI TP-PMD. Скремблер принимает 5-битовые порции данных от подуровня PCS, выполняющего кодирование 4В/5В, и кодирует сигналы перед передачей на подуровень MLT-3 таким образом, чтобы равномерно распределить энергию сигнала по всему частотному спектру. Это уменьшает электромагнитное излучение кабеля.

Спецификации PHY TX и PHY T4 поддерживают функцию Auto-negotiation, с помощью которой два взаимодействующих устройства PHY могут автоматически выбрать наиболее эффективный режим работы.

В настоящее время определено 5 различных режимов работы, которые могут поддерживать устройства PHY TX или PHY T4 на витых парах:

- 10Base-T (2 пары категории 3);
- 10Base-T full-duplex (2 пары категории 3);
- 100Base-TX (2 пары категории 5 (или Type 1A STP));
- 100Base-TX full-duplex (2 пары категории 5 (или Type 1A STP));
- 100Base-T4 (4 пары категории 3).

Режим 10Base-T имеет самый низкий приоритет при переговорном процессе, а режим 100Base-T4 – самый высокий. Переговорный процесс происходит при включении питания устройства или может быть инициирован в любой момент модулем управления.

Узлы, поддерживающие спецификации PHY FX и PHY TX, могут работать в полнодуплексном режиме (full-duplex mode). В этом режиме не используется метод доступа к среде CSMA/CD и отсутствует понятие коллизий – каждый узел одновременно передает и принимает кадры данных по каналам Tx и Rx. Полнодуплексная работа возможна только

при соединении сетевого адаптера с коммутатором или же при непосредственном соединении коммутаторов.

При полнодуплексной работе стандарты 100Base-TX и 100Base-FX обеспечивают скорость обмена данными между узлами 200 Мбит/с.

Физический уровень 100Base-T4 – четырехпарная витая пара. Спецификация РНУ T4 была разработана для возможности использования для высокоскоростного Ethernet имеющуюся проводку на витой паре категории 3. Чтобы повысить общую пропускную способность за счет одновременной передачи потоков бит по нескольким витым парам эта спецификация использует все 4 пары кабеля.

Вместо кодирования 4В/5В в этом методе используется кодирование 8В/6Т. Каждые 8 бит информации MAC-уровня кодируются шестью троичными цифрами (ternary symbols), т. е. цифрами, имеющими три состояния. Каждая троичная цифра имеет длительность 40 нс. Группа из 6 троичных цифр затем передается на одну из трех передающих витых пар, независимо и последовательно. Четвертая пара используется для прослушивания несущей частоты в целях обнаружения коллизии. Скорость передачи данных по каждой из трех передающих пар равна 33,3 Мбит/с, следовательно общая скорость протокола 100Base-T4 составляет 100 Мбит/с. В то же время из-за принятого способа кодирования скорость изменения сигнала на каждой паре равна всего 25 Мбод, что и позволяет использовать витую пару категории 3.

Правила построения сегментов сети по технологии Fast Ethernet. Технология Fast Ethernet, как и все некоаксиальные варианты Ethernet, рассчитана на подключение конечных узлов (компьютеров с соответствующими сетевыми адаптерами) к многопортовым концентраторам-повторителям или коммутаторам.

Правила корректного построения сегментов сетей Fast Ethernet включают:

- ограничения на максимальные длины сегментов, соединяющих DTE с DTE;
- ограничения на максимальные длины сегментов, соединяющих DTE с портом повторителя;
- ограничения на максимальный диаметр сети;
- ограничения на максимальное число повторителей и максимальную длину сегмента, соединяющего повторители.

Ограничения длин сегментов DTE-DTE. В качестве DTE (Data Terminal Equipment) может выступать любой источник кадров данных для сети: сетевой адаптер, порт моста, порт маршрутизатора, модуль управления сетью и другие подобные устройства. Порт повторителя не является DTE. В типичной конфигурации сети Fast Ethernet несколько

DTE подключается к портам повторителя, образуя сеть звездообразной топологии.

Спецификация IEEE 802.3u определяет максимальную длину сегментов DTE-DTE:

100Base-TX	(кабель Category 5 UTP)	100 м
100Base-FX	(многомодовое волокно 62,5/1 25 мкм)	412 м (полудуплекс) 2 км (полный дуплекс)
100Base-T4	(кабель Category 3,4 или 5 UTP)	100 м

Ограничения, связанные с соединениями с повторителями. Повторители Fast Ethernet делятся на два класса.

Повторители класса I поддерживают все типы систем кодирования физического уровня: 100Base-TX/FX и 100Base-T4.

Повторители класса II поддерживают только один тип системы кодирования физического уровня – 100Base-TX/FX или 100Base-T4.

В одном домене коллизий допускается наличие только одного повторителя класса I. Это связано с тем, что такой повторитель вносит большую задержку при распространении сигналов из-за необходимости трансляции различных систем сигнализации.

Повторители класса II в домене коллизий соединяются между собой кабелем не длиннее 5 м, а их число не превышает 2.

Небольшое количество повторителей Fast Ethernet не является серьезным препятствием при построении сетей. Во-первых, наличие стекковых повторителей снимает проблемы ограниченного числа портов: все каскадируемые повторители представляют собой один повторитель с достаточным числом портов – до нескольких сотен. Во-вторых, применение коммутаторов и маршрутизаторов делит сеть на несколько доменов коллизий с небольшим числом станций в каждом.

В табл. 3.3 сведены правила построения сети на основе повторителей класса I.

Fast Ethernet следует применять в организациях и частях сетей, где до этого широко применялся простой Ethernet, но сегодняшние условия или же ближайшие перспективы требуют в этих частях сетей более высокой пропускной способности. Однако технология Fast Ethernet кроме положительных свойств, унаследовала и недостатки технологии Ethernet:

- большие задержки доступа к среде при коэффициенте использования среды выше 30...40 %, являющиеся следствием применения алгоритма доступа CSMA/CD;
- небольшие расстояния между узлами даже при использовании оптоволокна – следствие метода обнаружения коллизий;

- отсутствие определения избыточных связей в стандарте и отсутствие поддержки приоритетного трафика приложений реального времени.

Таблица 3.3

Правила построения сети на основе повторителей класса I

Тип кабеля	Максимальный диаметр сети, м	Максимальная длина сегмента, м
Только витая пара (TX)	200	100
Только оптоволокно (FX)	272	136
Несколько сегментов на витой паре и один сегмент на оптоволокне	260	100 (TX) 160 (FX)
Несколько сегментов на витой паре и несколько сегментов на оптоволокне	272	100 (TX) 136 (FX)

Технология Token Ring. Сеть Token Ring разработана компанией IBM в 1970 г. Она по-прежнему является основной технологией IBM для локальных сетей. Фактически по образцу Token Ring IBM была создана спецификация IEEE 802.5, которая почти идентична и полностью совместима с сетью Token Ring. Термин «Token Ring» обычно применяется как при ссылке на сеть Token Ring IBM, так и на сеть IEEE 802.5.

Сети Token Ring и IEEE 802.5 являются примерами сетей с передачей маркера. Сети с передачей маркера перемещают вдоль сети небольшой блок данных, называемый маркером. Владение этим маркером гарантирует право передачи. Если узел, принимающий маркер, не имеет информации для отправки, он просто переправляет маркер к следующей конечной станции. Каждая станция может удерживать маркер в течение определенного времени.

Если у станции, владеющей маркером, есть информация для передачи, она захватывает маркер, изменяет у него один бит (в результате чего маркер превращается в последовательность «начало блока данных»), дополняет информацией, которую он хочет передать и, наконец, отправляет эту информацию к следующей станции кольцевой сети. Когда информационный блок циркулирует по кольцу, маркер в сети отсутствует (если только кольцо не обеспечивает «раннего освобождения маркера» – Early Token Release), поэтому другие станции, желающие передать информацию, вынуждены ожидать. Следовательно, в сетях Token Ring не может быть коллизий. Если обеспечивается раннее высвобождение маркера, то новый маркер может быть выпущен после завершения передачи блока данных.

Информационный блок циркулирует по кольцу, пока не достигнет предполагаемой станции назначения, которая копирует информацию для дальнейшей обработки. Информационный блок продолжает циркулировать по кольцу; он удаляется после достижения станции, отославшей этот блок. Станция отправки может проверить вернувшийся блок, чтобы убедиться, что он был просмотрен и затем скопирован станцией назначения.

В отличие от сетей CSMA/CD (например, Ethernet) сети с передачей маркера являются сетями с детерминированным методом доступа. Это означает, что можно вычислить максимальное время, которое пройдет, прежде чем любая конечная станция сможет передавать. Это предсказуемое значение максимального времени делает сеть Token Ring идеальной для применений, где задержка должна быть известна и важна устойчивость функционирования сети. Примерами таких применений является среда автоматизированных станций на заводах.

Технология Token Ring обеспечивает скорости передачи 4 Мбит/с или 16 Мбит/с.

Технология FDDI. Сеть FDDI строится на основе двух оптоволоконных колец, образующих основной и резервный пути передачи данных между узлами сети. Использование двух колец – это основной способ повышения отказоустойчивости в сети FDDI. Узлы сети подключаются к обоим кольцам. В нормальном режиме работы сети данные проходят через все узлы и все участки кабеля первичного (Primary) кольца, поэтому этот режим назван режимом Thru – «сквозным» или «транзитным». Вторичное кольцо (Secondary) в этом режиме не используется.

В случае какого-либо вида отказа, когда часть первичного кольца не может передавать данные (например, обрыв кабеля или отказ узла), первичное кольцо объединяется со вторичным (рис. 24), образуя вновь единое кольцо. Этот режим работы сети называется Wrap, т. е. «свертывание» или «сворачивание» колец. Операция свертывания проводится концентраторами и/или сетевыми адаптерами FDDI. Для упрощения этой операции данные по первичному кольцу всегда передаются против часовой стрелки, а по вторичному – по часовой. Поэтому при образовании общего кольца из двух колец передатчики станций по-прежнему остаются подключенными к приемникам соседних станций, что позволяет правильно передавать и принимать информацию соседними станциями.

В стандартах FDDI отводится много внимания различным процедурам, позволяющим определить наличие отказа в сети и провести необходимую реконфигурацию. Сеть FDDI может полностью восстанавливать свою работоспособность в случае единичных отказов ее элементов. При множественных отказах сеть распадается на несколько несвязанных сетей.



Рис. 24. Сворачивание колец FDDI в случае обрыва

Кольца в сетях FDDI рассматриваются как общая разделяемая среда передачи данных, поэтому для нее определен специальный метод доступа. Этот метод очень близок к методу доступа сетей Token Ring и также называется методом маркерного кольца – token ring.

Механизм приоритета кадров в технологии FDDI отсутствует. Разработчиками технологии было принято решение о том, что деление трафика на 8 уровней приоритетов избыточно и достаточно разделить трафик на синхронный и асинхронный, первый из которых обслуживается всегда, даже при перегрузках кольца.

Технологии региональных сетей

Физический уровень WAN описывает интерфейс между терминальным оборудованием (Data Terminal Equipment, DTE) и оборудованием передачи данных (Data Communications Equipment, DCE). К терминальному оборудованию относятся устройства, которые входят в интерфейс «пользователь-сеть» со стороны пользователя и играют роль отправителя данных, получателя данных или и того и того вместе. Устройства DCE обеспечивают физическое подключение к сети, пропуск трафика и задание тактовых сигналов для синхронизации обмена данными между устройствами DCE и DTE. Обычно устройство DCE расположено у сервиспровайдера, а DTE – подключаемое устройство. В этой модели сервисы предоставляются DTE-устройствам с помощью модемов или устройств CSU/DSU.

Интерфейс «пользователь-сеть» определяется несколькими стандартами физического уровня.

- EIA/TIA-232 – общий стандарт интерфейса физического уровня, разработанный EIA и TIA, который поддерживает скорость переда-

чи данных в несбалансированном канале до 64 Кбит/с. Этот стандарт очень похож на спецификацию V.24 и ранее был известен как RS-232.

- EIA/TIA-449 – популярный интерфейс физического уровня, разработанный EIA и TIA. По существу, это более быстрая (до 2 Мбит/с) версия стандарта EIA/TIA-232, позволяющая работать с кабелями большей длины.
- V.24 – стандарт для интерфейса физического уровня между терминальным оборудованием (DTE) и оборудованием передачи данных (DCE). Он был разработан ИТУ-Т. По сути, V.24 – то же самое, что и стандарт EIA/TIA-232.
- V.35 – разработанный ИТУ-Т стандарт, который описывает синхронный протокол физического уровня, используемый для связи между устройствами доступа к сети и пакетной сетью. Наибольшее распространение V.35 получил в США и Европе. Он рекомендован для скоростей передачи данных вплоть до 48 Кбит/с.
- X.21 – разработанный ИТУ-Т стандарт, который используется для последовательной связи по синхронным цифровым линиям. В основном протокол X.21 используется в Европе и Японии.
- G.703 – разработанные ИТУ-Т электрические и механические спецификации для связи между оборудованием телефонных компаний и терминальным оборудованием (DTE) с использованием байонетных BNC-разъемов и на скоростях, соответствующих каналу типа E1.

Существует несколько методов канальной инкапсуляции, связанных с линиями синхронной последовательной передачи данных.

- HDLC (High-level Data Link Control – высокоуровневый протокол управления каналом).
- Frame Relay.
- PPP (Point-to-Point Protocol – протокол связи «точка-точка»).
- ISDN.

HDLC – это битово-ориентированный протокол, разработанный Международной организацией по стандартизации (ISO). HDLC описывает метод инкапсуляции в каналах синхронной последовательной связи с использованием символов кадров и контрольных сумм. HDLC является ISO-стандартом, реализации которого различными поставщиками могут быть несовместимы между собой по причине различий в способах его реализации, и поэтому этот стандарт не является общепринятым для глобальных сетей. Протокол HDLC поддерживает как двухточечную, так и многоточечную конфигурации.

Протокол Frame Relay предусматривает использование высококачественного цифрового оборудования. Используя упрощенный меха-

низм формирования кадров без коррекции ошибок, Frame Relay может отправлять информацию канального уровня намного быстрее, чем другие протоколы глобальных сетей. Frame Relay является стандартным протоколом канального уровня при организации связи по коммутируемым каналам, позволяющим работать сразу с несколькими виртуальными каналами, в которых используется инкапсуляция по методу HDLC. Frame Relay является более эффективным протоколом, чем протокол X.25, для замены которого он и был разработан.

Протокол PPP обеспечивает соединение маршрутизатор – маршрутизатор и хост-сеть как по синхронным, так и по асинхронным каналам. PPP содержит поле типа протокола для идентификации протокола сетевого уровня.

ISDN является набором цифровых сервисов для передачи голоса и данных. Разработанный телефонными компаниями, этот протокол позволяет передавать по телефонным сетям данные, голос и другие виды трафика.

Протоколы сетей X.25

Технология X.25 (официально называемая CCITT Recommendation X.25 – «Рекомендация X.25» CCITT) – международный стандарт передачи пакетов по общественным сетям. Он поддерживает линии передачи данных со средней или высокой скоростью передачи для постоянного или периодического использования. Стандарт X.25, как правило, используют для организации международных сетей.

Для связи локальной сети с сетью X.25 используется мост или маршрутизатор. Доступ к сети осуществляется через арендуемую линию или линию с вызовом по номеру. В выделенных линиях обычно используют синхронную связь, что увеличивает пропускную способность. Скорость передачи составляет 19,2...64 кбит/с. Линии с вызовом по номеру используют асинхронные методы с применением модемов, которые имеют собственные средства коррекции ошибок. Скорость передачи зависит от скорости модема.

Сети с коммутацией пакетов X.25 не обеспечивают качественную передачу критичного к задержкам трафика, так как в них отсутствуют механизмы обеспечения приоритетов каких-либо видов данных. Дело в том, что технология X.25 предназначена для организации надежной передачи данных в условиях разветвленных территориально-распределенных сетей на базе низко- и среднескоростных каналов невысокого качества. При этом обеспечивается достоверная и упорядоченная (за счет повторной передачи искаженных кадров) передача данных между каждой парой соседних узлов сети по всему маршруту следования па-

кета. В сетях с каналами низкого качества возникают нерегламентированные непостоянные по величине задержки передаваемых данных.

Технология X.25 определяет характеристики телефонной сети для передачи данных. Чтобы начать связь, один компьютер обращается к другому с запросом о сеансе связи. Вызванный компьютер может принять или отклонить связь. Если вызов принят, то обе системы могут начать передачу информации с полным дублированием. Любая сторона может в любой момент прекратить связь. Спецификация X.25 определяет двухточечное взаимодействие между терминальным оборудованием (DTE) и оборудованием завершения действия информационной цепи (DCE). Устройства DTE (терминалы и главные вычислительные машины – хосты) подключают к устройствам DCE (модемы, коммутаторы пакетов и другие порты в сети PDN), которые соединены с «коммутаторами переключения пакетов» (PSE – packet switching exchange или просто switches) и другими DCE внутри сети с коммутацией пакетов PSN и, наконец, с другим устройством DTE. Взаимоотношения между объектами сети X.25 показаны на рис. 25.

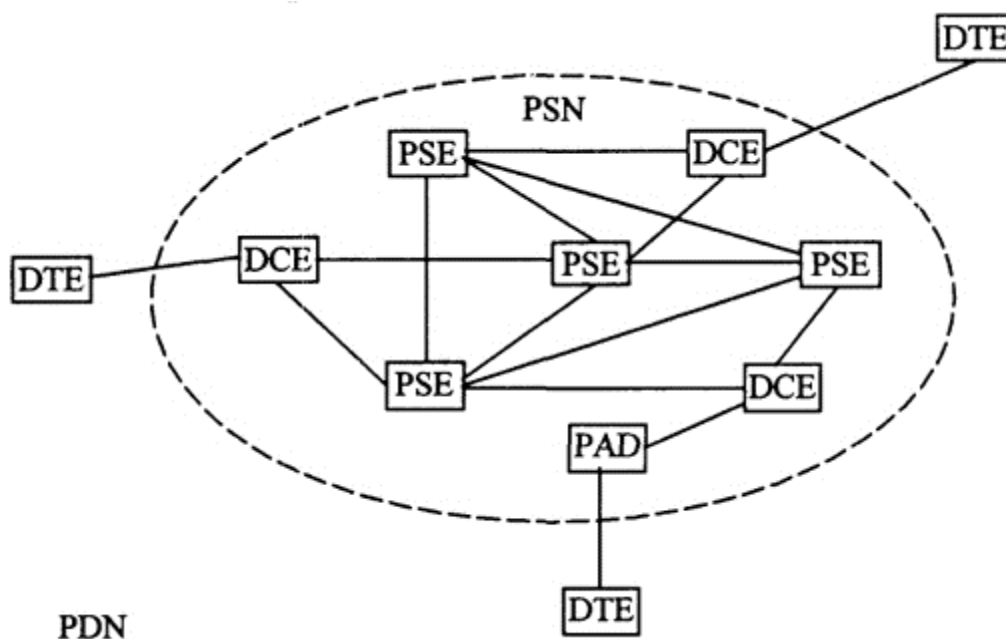


Рис. 25. Модель сети X.25

DTE может быть терминалом, который не полностью реализует все функциональные возможности X.25. Такие DTE подключают к DCE через трансляционное устройство, называемое пакетный ассемблер/дисассемблер (PAD – packet assembler/disassembler). Их используют для доступа в сеть абонентов в асинхронном режиме обмена информацией, т. е., например, через последовательный порт компьюте-

ра (непосредственно или с применением модемов). PAD обычно имеет несколько асинхронных портов и один синхронный (порт X.25). Он накапливает поступающие через асинхронные порты данные, упаковывает их в пакеты и передает через порт X.25.

Интерфейс терминал/PAD, услуги, предлагаемые PAD, взаимодействие между PAD и главной вычислительной машиной определены рекомендациями CCITT X.28, X3 и X.29 соответственно.

Спецификация X.25 соответствует первым трем уровням эталонной модели OSI. Уровень 3 X.25 описывает форматы пакетов и процедуры обмена пакетами между равноправными объектами этого уровня. Уровень 2 X.25 реализован протоколом Link Access Procedure, Balanced (LAPB), определяющим кадрирование пакетов для звена DTE/DCE. Уровень 1 X.25 определяет электрические и механические процедуры активации и деактивации физической среды, соединяющей данные DTE и DCE (рис. 26). Необходимо отметить, что на Уровни 2 и 3 также ссылаются как на стандарты ISO – ISO 7776 (LAPB) и ISO 8208 (пакетный уровень X.25).

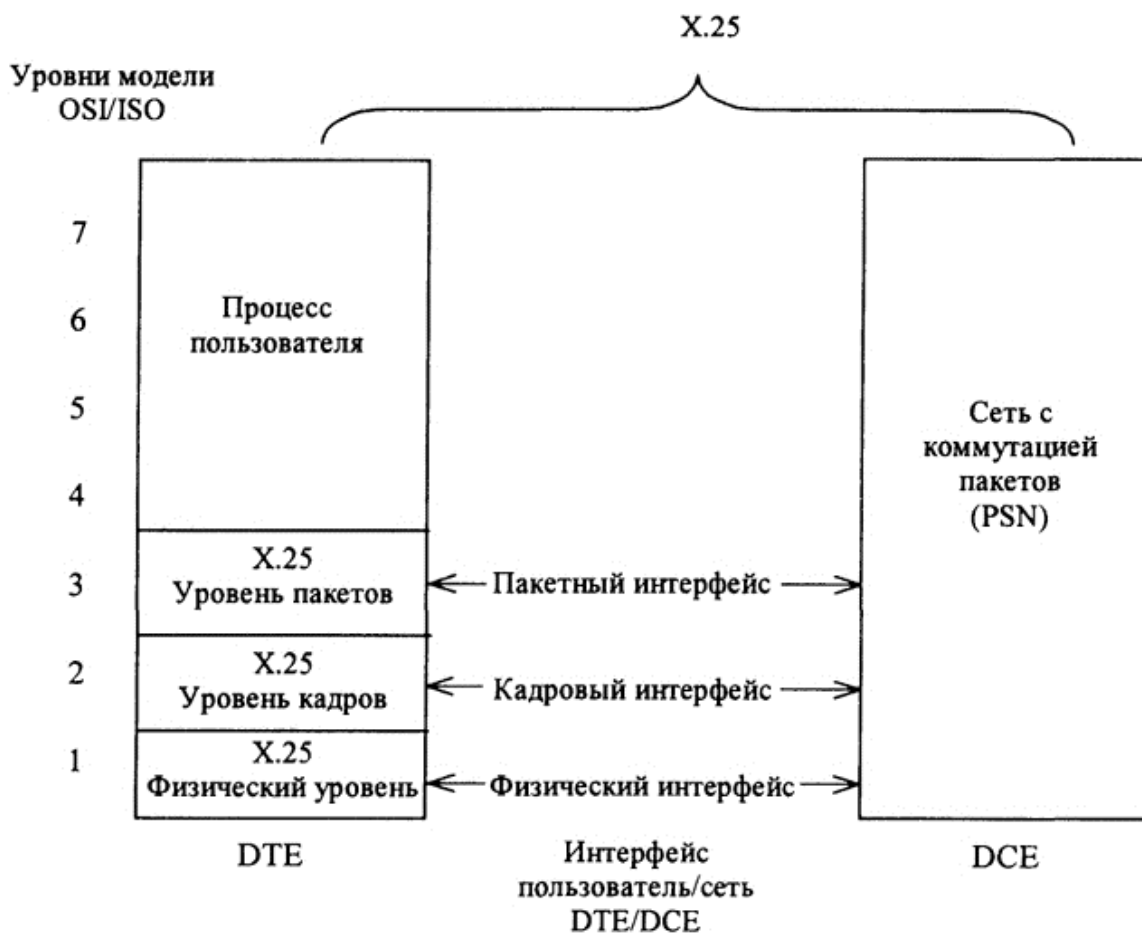


Рис. 26. Соответствие между уровнями X.25 и моделью OSI/ISO

Сквозная передача между устройствами DTE выполняется через двунаправленную связь, называемую виртуальной цепью. Виртуальные цепи позволяют осуществлять связь между различными элементами сети через любое число промежуточных узлов без назначения частей физической среды, что характерно для физических цепей. Виртуальные цепи бывают постоянные, или коммутируемые (временные). Постоянные виртуальные цепи называют PVC; коммутируемые виртуальные цепи – SVC. Уровень 3 X.25 отвечает за сквозную передачу, включающую как PVC, так и SVC-цепи.

После организации виртуальной цепи DTE отсылает пакет на другой конец связи через DCE, используя соответствующую виртуальную цепь. DCE просматривает номер виртуальной цепи для определения маршрута этого пакета через сеть X.25. Протокол Уровня 3 X.25 осуществляет мультиплексную передачу между всеми DTE, которые обслуживает устройство DCE, расположенное в сети со стороны пункта назначения, в результате чего пакет доставляется к DTE пункта назначения.

Блок данных X.25 состоит из последовательности полей, показанной на рис. 27. Поля X.25 Уровня 3 образуют пакет X.25; они состоят из заголовка и данных пользователя. Поля X.25 Уровня 2 (LAPB) включают в себя поле управления и адреса кадра, встроенный пакет Уровня 2 (поле данных) и проверочную последовательность блока данных (FCS). Поле данных включает в себя пакет X.25 Уровня 3.

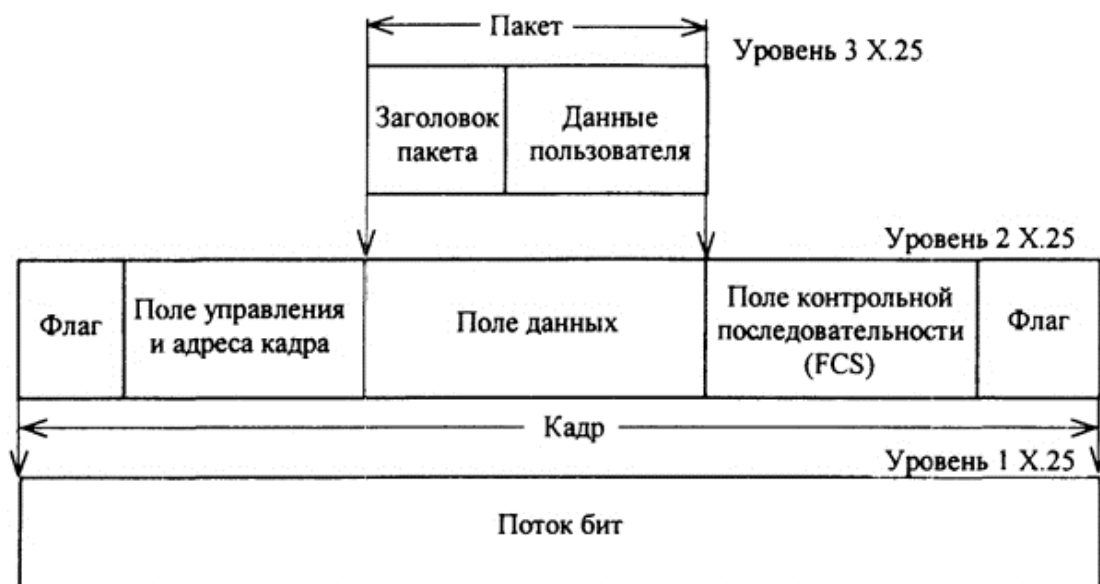


Рис. 27. Формат блока данных X.25

Заголовок X.25 Уровня 3 образован из идентификатора универсального формата (GFI – general format identifier), идентификатора логического канала (LCI – logical channel identifier) и идентификатора типа пакета (PTI – Packet Type Identifier). GFI представляет собой 4-битовое поле, ко-

торое указывает на универсальный формат заголовка пакета, LCI – 12-битовое поле, идентифицирующее виртуальную цепь. Поле LCI является логически значимым в интерфейсе DTE/DCE. Другими словами, для организации виртуальной цепи PDN соединяет два логических канала, каждый из которых имеет независимый LCI, двумя интерфейсами DTE/DCE. Поле PTI идентифицирует один из 17 типов пакетов X.25.



Рис. 28. Формат адреса X.121

Поля адресации в пакетах запроса на установление соединения содержат адреса DTE источника и пункта назначения. Их используют для организации виртуальных цепей. Рекомендация X.121 ССИТТ определяет форматы адресов источника и пункта назначения. Адреса X.121 (называемые также International Data Numbers, или IDN) имеют разную длину, которая может составлять до 14 десятичных знаков. Четвертый байт в пакете запроса на установление соединения определяет длину адресов DTE источника и назначения. Первые четыре цифры IDN называются код идентификации сети (DNIC – Data Network Identification Code). Он поделен на две части: первая часть (3 цифры) определяет страну, где находится PSN, вторая часть – саму PSN. Остальные цифры называются номером национального терминала (NTN – national terminal number); их используют для идентификации определенного DTE в сети PSN. Формат адреса X.121 представлен на рис. 28.

Уровень 1 X.25 использует протокол физического уровня X.21 bis, который примерно эквивалентен RS-232-C. Протокол X.21 bis является производным Рекомендаций V24 и V25 ССИТТ, которые соответственно идентифицируют цепи обмена и характеристики электрических сигналов интерфейса DTE/DCE. Протокол физического уровня X.21 bis обеспечивает двухточечные связи, скорости до 19,2 Кб/с и синхронную передачу с полным дублированием через 4-проводной носитель. Максимальное расстояние между DTE и DCE составляет 15 м.

На сегодняшний день накоплен большой опыт использования сетей X.25, который показывает, что они эффективны для широкого круга задач передачи данных: обмен сообщениями, обращение большого количества пользователей к удаленной базе данных, связь локальных сетей (при ограничении скорости не более 512 кбит/с), объединение удаленных кассовых аппаратов и банкоматов и пр. Все эти случаи, да и другие, не указанные, объединяет то, что трафик в сети не является равномерным во времени. Немаловажным достоинством сетей X.25 является то, что по ним можно передавать данные по каналам телефонной сети общего пользования, как выделенным, так и коммутируемым с максимальной для этих каналов скоростью и достоверностью.

Кроме того, сети X.25 предоставляют возможность связи через обычные асинхронные СОМ-порты. Таким образом, практически любое приложение, допускающее обращение к удаленным ресурсам через СОМ-порт, может быть легко интегрировано в сеть X.25.

С точки зрения безопасности передачи информации, сети X.25 имеют ряд достоинств. Во-первых, благодаря самой структуре сети X.25 стоимость перехвата информации оказывается достаточно высокой, что само по себе является неплохой защитой. С помощью самой сети можно эффективно решить проблему несанкционированного доступа. В случае же, если необходима полная конфиденциальность, когда неприемлем даже небольшой риск перехвата информации, необходимо использовать средства шифрования, в том числе и в реальном времени. В настоящее время для сетей X.25 разработаны средства шифрования, позволяющие работать на достаточно высоких скоростях (до 64 кбит/с). Такое оборудование производят компании Racal, Cylink, Siemens. Есть и российские разработки, созданные под эгидой ФАПСИ.

В настоящее время, правда, принято считать, что сети X.25 медленны, дороги и вообще устарели. Практически не существует сетей X.25, использующих скорости, превышающие 128 кбит/с. Связано это с тем, в частности, что протокол X.25 включает в себя мощные средства коррекции ошибок, обеспечивая передачу данных без искажений даже на линиях плохого качества. Следует особо отметить тот факт, что в России, к сожалению, каналов хорошего качества нет практически нигде. Понятно, что за надежность связи приходится платить, как правило, именно быстрейшим образом оборудования сети и сравнительно большими, хотя и предсказуемыми, задержками распространения информации. Кроме того, протокол X.25 достаточно универсален и позволяет передавать практически любые типы данных. Для сетей X.25 «естественным» является работа приложений, использующих стек протоколов OSI, а именно: системы, работающие в соответствии со стандартом X.400 (электронная почта),

FTAM (обмен файлами) и др. Доступны средства, позволяющие реализовать на базе протоколов OSI взаимодействие Unix-систем.

Недостатками технологии X.25 является наличие ряда принципиальных ограничений по скорости. Одно из них связано с весьма развитыми возможностями коррекции ошибок. Эти средства вызывают задержки передачи информации и требуют от аппаратуры X.25 большой вычислительной мощности и производительности. Несмотря на то, что существует оборудование, имеющее двухмегабитные порты, реально обеспечиваемая ими скорость не превышает 250...300 кбит/с на порт. Для современных скоростных линий связи средства коррекции X.25 избыточны, и при их использовании мощности оборудования зачастую работают вхолостую.

Второй недостаток, заставляющий рассматривать сети X.25 как медленные, заключается в особенностях инкапсуляции протоколов локальных сетей (главным образом IP и IPX). При прочих равных условиях связь локальных сетей по X.25 оказывается на 15...40 % (в зависимости от параметров сети) медленнее, чем при использовании HDLC по выделенной линии. Причем, чем хуже линия связи, тем выше потери производительности. Это также связано с очевидной избыточностью: протоколы LAN имеют собственные средства коррекции и восстановления (TCP, SPX), однако при использовании X.25 приходится делать это еще раз, теряя скорость.

Именно на основании этих недостатков сети X.25 считают медленными и устаревшими. Тем не менее, на линиях невысокого качества сети X.25 вполне эффективны и дают значительный выигрыш по цене и возможностям по сравнению с выделенными линиями, хотя по ним невозможно передавать голос и видео. С другой стороны, даже рассчитывая на быстрое улучшение качества связи вложения в аппаратуру X.25 не пропадут, так как современное оборудование включает возможность перехода к технологии Frame Relay.

Интегрированные сети ISDN.

Название сети *Integrated Services Digital Network (ISDN)* (Цифровая сеть с интегрированными услугами) относится к набору цифровых услуг, которые становятся доступными для конечных пользователей. ISDN предполагает оцифровывание телефонной сети для того, чтобы голос, информация, текст, графические изображения, музыка, видеосигналы и другие материальные источники могли быть переданы ко конечному пользователю по имеющимся телефонным проводам и получены им из одного терминала конечного пользователя.

ISDN является попыткой стандартизировать абонентские услуги, интерфейсы пользователь/сеть и сетевые и межсетевые возможности. Стандартизация абонентских услуг является попыткой гарантировать

уровень совместимости в международном масштабе. Стандартизация интерфейса пользователь/сеть стимулирует разработку и сбыт на рынке этих интерфейсов изготовителями, являющимися третьей участвующей стороной. Стандартизация сетевых и межсетевых возможностей помогает в достижении цели возможного объединения в мировом масштабе путем обеспечения легкости связи сетей ISDN друг с другом.

Применения ISDN включают быстросействующие системы обработки изображений (такие, как факсимиле Group 1V), дополнительные телефонные линии в домах для обслуживания индустрии дистанционного доступа, высокоскоростную передачу файлов и проведение видео конференций. Передача голоса несомненно станет популярной прикладной программой для ISDN.

Компоненты ISDN. В число компонентов ISDN входят терминалы, терминальные адаптеры (ТА), устройства завершения работы сети, оборудование завершения работы линии и оборудование завершения коммутации. Имеется два типа терминалов ISDN. Специализированные терминалы ISDN называются «терминальным оборудованием типа 1» (terminal equipment type 1) (TE1). Терминалы, разрабатывавшиеся не для ISDN, такие, как DTE, которые появились раньше стандартов ISDN, называются «терминальным оборудованием типа 2» (terminal equipment type 2) (TE2). Терминалы TE1 подключают к сети ISDN через цифровую линию связи из четырех скрученных пар проводов. Терминалы TE2 подключают к сети ISDN через терминальный адаптер. Терминальный адаптер (ТА) ISDN может быть либо автономным устройством, либо платой внутри TE2. Если TE2 реализован как автономное устройство, то он подключает к ТА через стандартный интерфейс физического уровня (например, EIA232, V.24 или V.35).

Следующей точкой соединения в сети ISDN, расположенной за пределами устройств TE1 и TE2, является NT1 или NT2. Это устройства завершения работы сети, которые подключают четырехпроводной абонентский монтаж к традиционному контуру двухпроводной локальной сети. В Северной Америке NT1 является устройством «оборудования посылок заказчика» (*customer premises equipment*) (CPE). В большинстве других частей света NT1 является частью сети, обеспечиваемой коммерческими сетями связи. NT2 является более сложным устройством, которое обычно применяется в «частных цифровых телефонных станциях с выходом в общую сеть» (PBX), и выполняет функции протоколов Уровней 2 и 3 и услуги по концентрации данных. Существует также устройство NT1/2; это отдельное устройство, которое сочетает функции NT1 и NT2.

В ISDN задано определенное число контрольных точек. Эти контрольные точки определяют логические интерфейсы между функцио-

нальными группировками, такими, как ТА и NT1. Контрольными точками ISDN являются точки «R» (контрольная точка между неспециализированным оборудованием ISDN и ТА), «S» (контрольная точка между терминалами пользователя и NT2), «T» (контрольная точка между устройствами NT1 и NT2) и «U» (контрольная точка между устройствами NT1 и оборудованием завершения работы линии в коммерческих сетях связи). Контрольная точка «U» имеет отношение только к Северной Америке, где функция NT1 не обеспечивается коммерческими сетями связи.

На рис. 29 показан «Образец конфигурации ISDN». На рисунке изображены три устройства, подключенные к коммутатору ISDN, находящемуся на центральной станции. Два из этих устройства совместимы с ISDN, поэтому их можно подключить к устройствам NT2 через контрольную точку «S». Третье устройство (стандартный, не специализированный для ISDN телефон) подключается к ТА через контрольную точку «R». Любое из этих устройств может быть также подключено к устройству NT1/2, которое заменяет оба устройства- NT1 и NT2. Аналогичные станции пользователей (не показанные на рисунке) подключены к самому правому коммутатору ISDN.

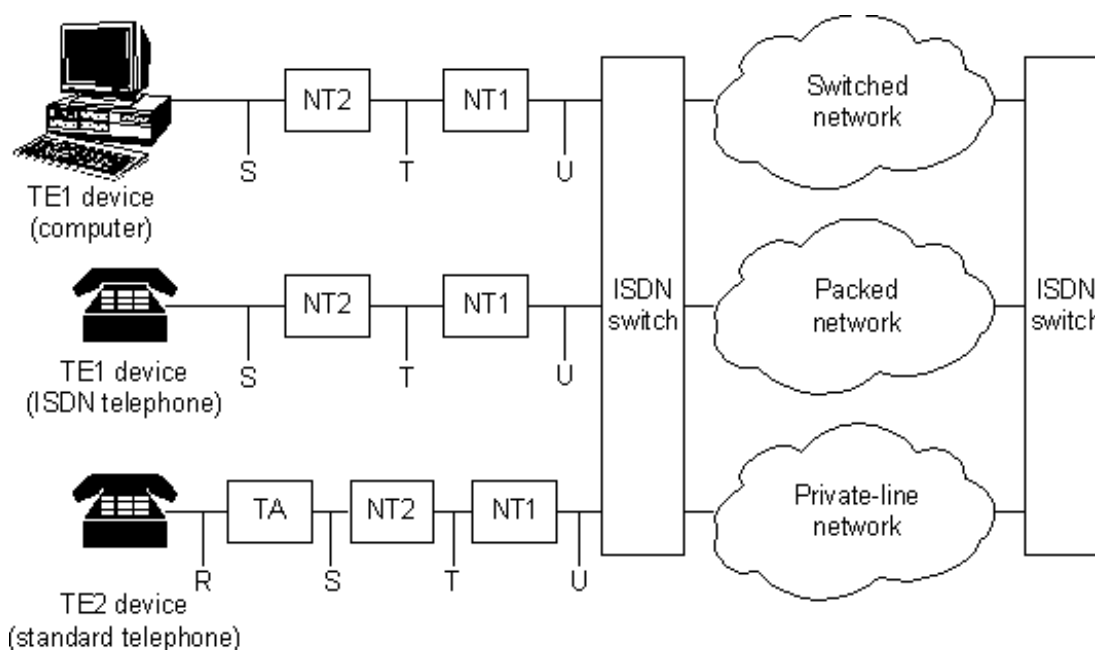


Рис. 29. Подключение к сети ISDN

Услуги ISDN. Услуги «Интерфейса базовой скорости» (Basic Rate Interface) (BRI), обеспечиваемые ISDN, предлагают два В-канала и один D-канал (2B+D). Обслуживание В-каналом BRI осуществляется со скоростью 64 Кб/сек; оно предназначено для переноса управляющей информации и информации сигнализации, хотя при определенных обстоя-

тельствах может поддерживать передачу информации пользователя. Протокол обмена сигналами D-канала включает Уровни 1–3 эталонной модели OSI. BRI обеспечивает также управление разметкой и другие непроизводительные операции, при этом общая скорость передачи битов доходит до 192 Кб/сек. Спецификацией физического уровня BRI является CCITT 1.430.

Услуги «Интерфейса первичной скорости» ISDN (*Primary Rate Interface*) (PRI) предлагают 23 В-канала и один D-канал в Северной Америке и Японии, обеспечивающие общую скорость передачи битов 1.544 Мб/сек (канал-D PRI работает на скорости 64 Кб/сек). PRI ISDN в Европе, Австралии и других частях света обеспечивает 30 В-каналов и один 64 Кб/сек D-канал и общую скорость интерфейса 2.048 Мб/сек. Спецификацией физического уровня PRI является CCITT 1.431.

Протокол Frame Relay

Frame Relay первоначально замыслился как протокол для использования в интерфейсах ISDN, и исходные предложения, представленные в CCITT в 1984 г., преследовали эту цель. Была также предпринята работа над Frame Relay в аккредитованном ANSI комитете по стандартам T1S1 в США.

Крупное событие в истории Frame Relay произошло в 1990 г., когда Cisco Systems, StrataCom, Northern Telecom и Digital Equipment Corporation образовали консорциум, чтобы сосредоточить усилия на разработке технологии Frame Relay и ускорить появление изделий Frame Relay, обеспечивающих взаимодействие сетей. Консорциум разработал спецификацию, отвечающую требованиям базового протокола Frame Relay, рассмотренного в T1S1 и CCITT; однако он расширил ее, включив характеристики, обеспечивающие дополнительные возможности для комплексных окружений межсетевое объединения. Эти дополнения к Frame Relay называют обобщенно *local management interface* (LMI) (интерфейс управления локальной сетью).

Основы технологии. Frame Relay обеспечивает возможность передачи данных с коммутацией пакетов через интерфейс между устройствами пользователя (например, маршрутизаторами, мостами, главными вычислительными машинами) и оборудованием сети (например, переключателями узлами). Устройства пользователя часто называют терминальным оборудованием (DTE), в то время как сетевое оборудование, которое обеспечивает согласование с DTE, часто называют устройством завершения работы информационной цепи (DCE). Сеть, обеспечивающая интерфейс Frame Relay, может быть либо общедоступная сеть передачи данных и использованием несущей, либо сеть с оборудованием,

находящимся в частном владении, которая обслуживает отдельное предприятие.

В роли сетевого интерфейса, Frame Relay является таким же типом протокола, что и X.25. Однако Frame Relay значительно отличается от X.25 по своим функциональным возможностям и по формату. В частности, Frame Relay является протоколом для линии с большим потоком информации, обеспечивая более высокую производительность и эффективность.

В роли интерфейса между оборудованием пользователя и сети, Frame Relay обеспечивает средства для мультиплексирования большого числа логических информационных диалогов (называемых виртуальными цепями) через один физический канал передачи, которое выполняется с помощью статистики. Это отличает его от систем, использующих только технику временного мультиплексирования (TDM) для поддержания множества информационных потоков. Статистическое мультиплексирование Frame Relay обеспечивает более гибкое и эффективное использование доступной полосы пропускания. Оно может использоваться без применения техники TDM или как дополнительное средство для каналов, уже снабженных системами TDM.

Другой важной характеристикой Frame Relay является то, что она использует новейшие достижения технологии передачи глобальных сетей. Более ранние протоколы WAN, такие как X.25, были разработаны в то время, когда преобладали аналоговые системы передачи данных и медные носители. Эти каналы передачи данных значительно менее надежны, чем доступные сегодня каналы с волоконно-оптическим носителем и цифровой передачей данных. В таких каналах передачи данных протоколы канального уровня могут предшествовать требующим значительных временных затрат алгоритмам исправления ошибок, оставляя это для выполнения на более высоких уровнях протокола. Следовательно, возможны большие производительность и эффективность без ущерба для целостности информации. Именно эта цель преследовалась при разработке Frame Relay. Он включает в себя алгоритм проверки при помощи циклического избыточного кода (CRC) для обнаружения испорченных битов (из-за чего данные могут быть отвергнуты), но в нем отсутствуют какие-либо механизмы для корректирования испорченных данных средствами протокола (например, путем повторной их передачи на данном уровне протокола).

Другим различием между Frame Relay и X.25 является отсутствие явно выраженного управления потоком для каждой виртуальной цепи. В настоящее время, когда большинство протоколов высших уровней эффективно выполняют свои собственные алгоритмы управления пото-

ком, необходимость в этой функциональной возможности на канальном уровне уменьшилась. Таким образом, Frame Relay не включает явно выраженных процедур управления потоком, которые являются избыточными для этих процедур в высших уровнях. Вместо этого предусмотрены очень простые механизмы уведомления о перегрузках, позволяющие сети информировать какое-либо устройство пользователя о том, что ресурсы сети находятся близко к состоянию перегрузки. Такое уведомление может предупредить протоколы высших уровней о том, что может понадобиться управление потоком.

Стандарты Current Frame Relay адресованы перманентным виртуальным цепям (PVC), определение конфигурации которых и управление осуществляется административным путем в сети Frame Relay. Был также предложен и другой тип виртуальных цепей – коммутируемые виртуальные цепи (SVC). Протокол ISDN предложен в качестве средства сообщения между DTE и DCE для динамичной организации, завершения и управления цепями SVC. Как T1S1, так и CCITT ведут работу по включению SVC в стандарты Frame Relay.

Дополнения LMI. Помимо базовых функций передачи данных протокола Frame Relay, спецификация консорциума Frame Relay включает дополнения LMI, которые делают задачу поддержания крупных межсетей более легкой. Некоторые из дополнений LMI называют «общими»; считается, что они могут быть реализованы всеми, кто взял на вооружение эту спецификацию. Другие функции LMI называют «факультативными». Ниже приводится следующая краткая сводка о дополнениях LMI:

Сообщения о состоянии виртуальных цепей (общее дополнение). Обеспечивает связь и синхронизацию между сетью и устройством пользователя, периодически сообщая о существовании новых PVC и ликвидации уже существующих PVC, и в большинстве случаев обеспечивая информацию о целостности PVC. Сообщения о состоянии виртуальных цепей предотвращают отправку информации в «черные дыры», т. е. через PVC, которые больше не существуют.

Многоточечная адресация (факультативное). Позволяет отправителю передавать один блок данных, но доставлять его через сеть нескольким получателям. Таким образом, многоточечная адресация обеспечивает эффективную транспортировку сообщений протокола маршрутизации и процедур резолуции адреса, которые обычно должны быть отосланы одновременно во многие пункты назначения.

Глобальная адресация (факультативное). Наделяет идентификаторы связи глобальным, а не локальным значением, позволяя их использование для идентификации определенного интерфейса с сетью Frame Relay. Глобальная адресация делает сеть Frame Relay похожей на LAN в тер-

минах адресации; следовательно, протоколы резолуции адреса действуют в Frame Relay точно также, как они работают в LAN.

Простое управление потоком данных (факультативное). Обеспечивает механизм управления потоком XON/XOFF, который применим ко всему интерфейсу Frame Relay. Он предназначен для тех устройств, высшие уровни которых не могут использовать биты уведомления о перегрузке и которые нуждаются в определенном уровне управления потоком данных.

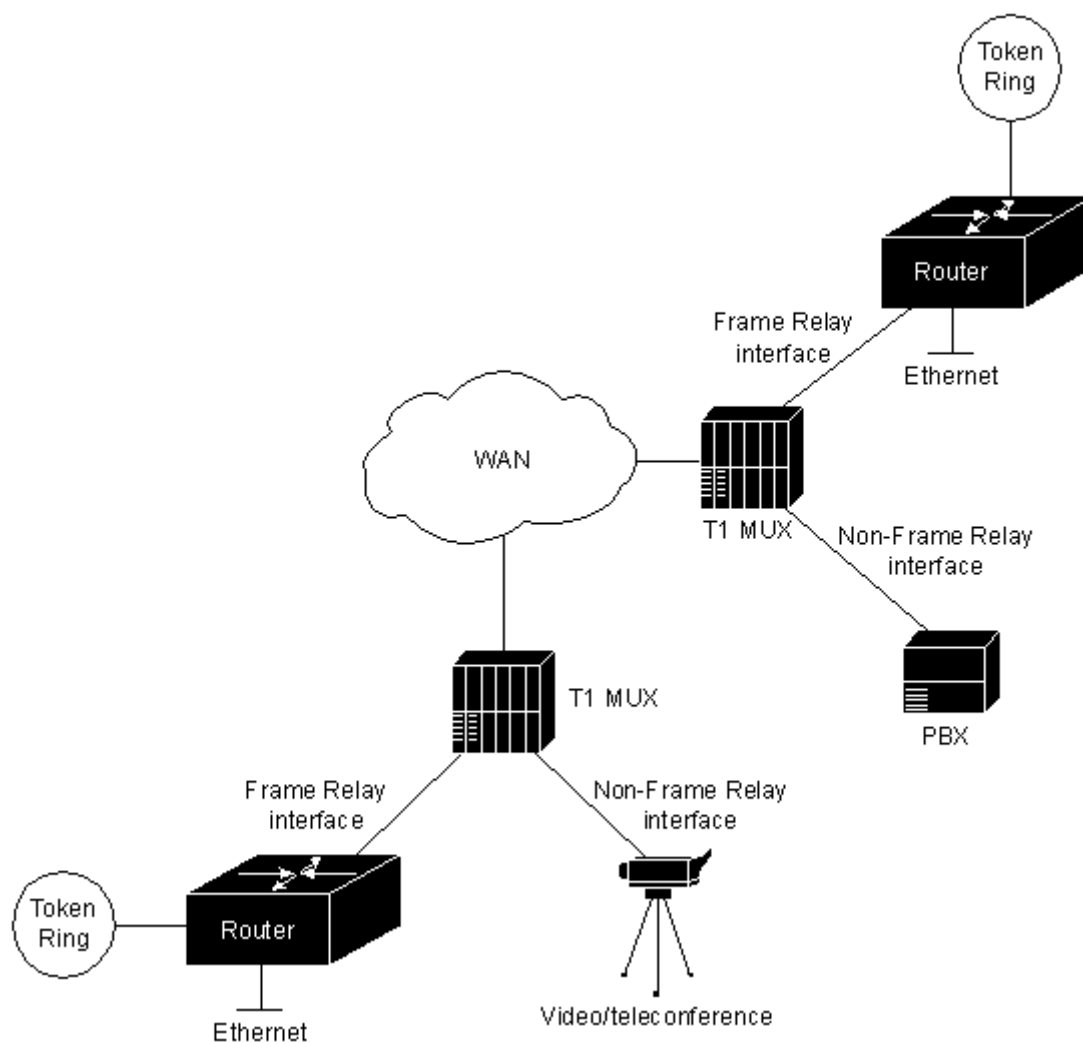


Рис. 30. Гибридная сеть Frame Relay

Реализация сети. Frame Relay может быть использована в качестве интерфейса к услугам либо общедоступной сети со своей несущей, либо сети с оборудованием, находящимся в частном владении. Обычным способом реализации частной сети является дополнение традиционных мультиплексоров T1 интерфейсами Frame Relay для информационных устройств, а также интерфейсами (не являющимися специализированными интерфейсами Frame Relay) для других прикладных задач, таких как

передача голоса и проведение видео-телеконференций. На рис. 30 представлена такая конфигурация сети.

Обслуживание общедоступной сетью Frame Relay разворачивается путем размещения коммутирующего оборудования Frame Relay в центральных офисах (СО) телекоммуникационной линии. В этом случае пользователи могут реализовать экономические выгоды от тарифов начислений за пользование услугами, чувствительных к трафику, и освобождены от работы по администрированию, поддержанию и обслуживанию оборудования сети.

Для любого типа сети линии, подключающие устройства пользователя к оборудованию сети, могут работать на скорости, выбранной из широкого диапазона скоростей передачи информации. Типичными являются скорости в диапазоне от 56 Кб/сек до 2 Мб/сек, хотя технология Frame Relay может обеспечивать также и более низкие и более высокие скорости. Ожидается, что в скором времени будут доступны реализации, способные оперировать каналами связи с пропускной способностью свыше 45 Мб/сек (DS3).

Как в общедоступной, так и в частной сети факт обеспечения устройств пользователя интерфейсами Frame Relay не является обязательным условием того, что между сетевыми устройствами используется протокол Frame Relay. В настоящее время не существует стандартов на оборудование межсоединений внутри сети Frame Relay. Таким образом, могут быть использованы традиционные технологии коммутации цепей, коммутации пакетов, или гибридные методы, комбинирующие эти технологии.

Протоколы сетей АТМ

Альтернативой технологии Ethernet является технология асинхронного режима передачи (Asynchronous Transfer Mode, АТМ), разработанная как единый универсальный транспорт для нового поколения сетей с интеграцией услуг, которые называются широкополосными сетями ISDN. Технология АТМ с самого начала разрабатывалась как технология, способная обслужить все виды трафика в соответствии с их требованиями.

По планам разработчиков единообразие, обеспечиваемое АТМ, будет состоять в том, что одна транспортная технология сможет обеспечить несколько перечисленных ниже возможностей.

- Передачу в рамках одной транспортной системы компьютерного и мультимедийного (голос, видео) трафика, чувствительного к задержкам, причем для каждого вида трафика качество обслуживания будет соответствовать его потребностям.

- Иерархию скоростей передачи данных, от десятков мегабит до нескольких гигабит в секунду с гарантированной пропускной способностью для ответственных приложений.
- Общие транспортные протоколы для локальных и глобальных сетей.
- Сохранение имеющейся инфраструктуры физических каналов или физических протоколов: T1/E1, T3/E3, SDH STM-n, FDDI.
- Взаимодействие с унаследованными протоколами локальных и глобальных сетей: IP, SNA, Ethernet, ISDN.

Сеть АТМ имеет классическую структуру крупной территориальной сети – конечные станции соединяются индивидуальными каналами с коммутаторами нижнего уровня, которые в свою очередь соединяются с коммутаторами более высоких уровней. Коммутаторы АТМ пользуются 20-байтными адресами конечных узлов для маршрутизации трафика на основе техники виртуальных каналов. Для частных сетей АТМ определен протокол маршрутизации PNNI (Private NNI), с помощью которого коммутаторы могут строить таблицы маршрутизации автоматически. В публичных сетях АТМ таблицы маршрутизации могут строиться администраторами вручную, как и в сетях X.25, или могут поддерживаться протоколом PNNI.

Коммутация пакетов происходит на основе идентификатора виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI), который назначается соединению при его установлении и уничтожается при разрыве соединения. Адрес конечного узла АТМ, на основе которого прокладывается виртуальный канал, имеет иерархическую структуру, подобную номеру в телефонной сети, и использует префиксы, соответствующие кодам стран, городов, сетям поставщиков услуг и т. п., что упрощает маршрутизацию запросов установления соединения, как и при использовании агрегированных IP-адресов в соответствии с техникой CIDR. Виртуальные соединения могут быть постоянными (Permanent Virtual Circuit, PVC) и коммутируемыми (Switched Virtual Circuit, SVC). Для ускорений коммутации в больших сетях используется понятие виртуального пути – Virtual Path, который объединяет виртуальные каналы, имеющие в сети АТМ общий маршрут между исходным и конечным узлами или общую часть маршрута между некоторыми двумя коммутаторами сети. Идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI) является старшей частью локального адреса и представляет собой общий префикс для некоторого количества различных виртуальных каналов. Таким образом, идея агрегирования адресов в технологии АТМ применена на двух уровнях – на уровне адресов конечных узлов (работает на стадии установления виртуального канала) и на уровне номеров виртуальных каналов (работает при передаче данных по имеющемуся виртуальному каналу).

Соединения конечной станции АТМ с коммутатором нижнего уровня определяются стандартом UNI (User Network Interface). Спецификация UNI определяет структуру пакета, адресацию станций, обмен управляющей информацией, уровни протокола АТМ, способы установления виртуального канала и способы управления трафиком. В настоящее время принята версия UNI4.0, но наиболее распространенной версией, поддерживаемой производителями оборудования, является версия UNI 3.1.

Стандарт АТМ не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня. Здесь он основывается на технологии SDH/SONET, принимая ее иерархию скоростей. В соответствии с этим начальная скорость доступа пользователя сети – это скорость OC-3 155 Мбит/с. Организация АТМ Forum определила для АТМ не все иерархии скоростей SDH, а только скорости OC-3 и OC-12 (622 Мбит/с). На скорости 155 Мбит/с можно использовать не только волоконно-оптический кабель, но и неэкранированную витую пару категории 5. На скорости 622 Мбит/с допустим только волоконно-оптический кабель, причем как SMF, так и MMF. Имеются и другие физические интерфейсы к сетям АТМ, отличные от SDH/SONET. К ним относятся интерфейсы T1/E1 и T3/E3, распространенные в глобальных сетях, и интерфейсы локальных сетей – интерфейс с кодировкой 4B/5B со скоростью 100 Мбит/с (FDDI) и интерфейс со скоростью 25 Мбит/с, предложенный компанией IBM и утвержденный АТМ Forum. Кроме того, для скорости 155,52 Мбит/с определен так называемый «cell-based» физический уровень, то есть уровень, основанный на ячейках, а не на кадрах SDH/SONET. Этот вариант физического уровня не использует кадры SDH/SONET, а отправляет по каналу связи непосредственно ячейки формата АТМ, что сокращает накладные расходы на служебные данные, но несколько усложняет задачу синхронизации приемника с передатчиком на уровне ячеек.

Все перечисленные выше характеристики технологии АТМ не свидетельствуют о том, что это некая «особенная» технология, а скорее представляют ее как типичную технологию глобальных сетей, основанную на технике виртуальных каналов. Особенности же технологии АТМ лежат в области качественного обслуживания разнородного трафика и объясняются стремлением решить задачу совмещения в одних и тех же каналах связи и в одном и том же коммуникационном оборудовании компьютерного и мультимедийного трафика таким образом, чтобы каждый тип трафика получил требуемый уровень обслуживания и не рассматривался как «второстепенный».

Подход, реализованный в технологии АТМ, состоит в передаче любого вида трафика – компьютерного, телефонного или видео – пакетами фиксированной и очень маленькой длины в 53 байта. Пакеты АТМ

называют ячейками – cell. Поле данных ячейки занимает 48 байт, а заголовков – 5 байт. Чтобы пакеты содержали адрес узла назначения и в то же время процент служебной информации не превышал размер поля данных пакета, в технологии АТМ применен стандартный для глобальных вычислительных сетей прием – передача ячеек в соответствии с техникой виртуальных каналов с длиной номера виртуального канала в 24 бит, что вполне достаточно для обслуживания большого количества виртуальных соединений каждым портом коммутатора глобальной (может быть всемирной) сети АТМ.

Размер ячейки АТМ является результатом компромисса между телефонистами и компьютерщиками – первые настаивали на размере поля данных в 32 байта, а вторые – в 64 байта. Чем меньше пакет, тем легче имитировать услуги каналов с постоянной битовой скоростью, которая характерна для телефонных сетей. Ясно, что при отказе от жестко синхронизированных временных слотов для каждого канала идеальной синхронности добиться будет невозможно, однако чем меньше размер пакета, тем легче этого достичь.

Для пакета, состоящего из 53 байт, при скорости в 155 Мбит/с время передачи кадра на выходной порт составляет менее 3 мкс. Так что эта задержка не очень существенна для трафика, пакеты которого должны передаваться каждые 125 мкс. Однако на выбор размера ячейки большее влияние оказала не величина ожидания передачи ячейки, а задержка пакетизации. Задержка пакетизации – это время, в течение которого первый замер голоса ждет момента окончательного формирования пакета и отправки его по сети. При размере поля данных в 48 байт одна ячейка АТМ обычно переносит 48 замеров голоса, которые делаются с интервалом в 125 мкс. Поэтому первый замер должен задать примерно мс прежде чем ячейка будет отправлена по сети. Именно по этой причине телефонисты боролись за уменьшение размера ячейки, так как 6 мс – это задержка, близкая к пределу, за которым начинаются нарушения качества передачи голоса. При выборе размера ячейки в 32 байта задержка пакетизации составила бы 4 мс, что гарантировало бы более качественную передачу голоса. А стремление компьютерных специалистов увеличить поле данных до 64 байт вполне понятно – при этом повышается полезная скорость передачи данных. Избыточность служебных данных при использовании 48-байтного поля данных составляет 10 %, а при использовании 32-байтного поля данных она сразу повышается до 16 %.

Выбор для передачи данных любого типа небольшой ячейки фиксированного размера еще не решает задачу совмещения разнородного трафика в одной сети, а только создает предпосылки для ее решения. Для полного решения этой задачи технология АТМ привлекает и разви-

вает идеи заказа пропускной способности, и качества обслуживания, реализованные в технологии frame relay. Но если сеть frame relay изначально была предназначена для передачи только пульсирующего компьютерного трафика (в связи с этим для сетей frame relay так трудно дается стандартизация передачи голоса), то разработчики технологии АТМ проанализировали всевозможные образцы трафика, создаваемые различными приложениями, и выделили 4 основных класса трафика, для которых разработали различные механизмы резервирования и поддержания требуемого качества обслуживания. Класс трафика (называемый также классом услуг – service class) качественно характеризует требуемые услуги по передаче данных через сеть АТМ.

Синхронные каналы SDH/SONET

Мультиплексирование потоков информации при формировании мощных региональных и межрегиональных каналов имеет два решения. Одно базируется на синхронном мультиплексировании и носит название синхронная цифровая иерархия (SDH, см. Н.Н. Слепов, Синхронные цифровые сети SDH. ЭКО-ТРЕНДЗ, Москва, 1998), другое использует простой асинхронный пакетный обмен и носит название асинхронный режим передачи (АТМ, см. предыдущую главу).

Стандарт SDH (Synchronous Digital Hierarchy) разработан в Европе, (предназначен для замены иерархии асинхронных линий E-1/E-3) используется в настоящее время многими сетями и представляет собой модификацию американского стандарта на передачу данных по оптическим каналам связи SONET (synchronous optical network). Несмотря на свое название SONET не ограничивается исключительно оптическими каналами. Спецификация определяет требования для оптического одно- и мультимодового волокна, а также для 75-омного коаксиального кабеля CATV 75. Пропускная способность SONET начинается с 51,84 Мбит/с STS-1 (synchronous transport signal-1). Более высокие скорости передачи информации в sonet кратны этому значению. Стандартизованы следующие скорости передачи, которые кратны скорости 64 Кбит/с.

STS-1	51,840
STS-3	155,520
STS-9	466,560
STS-12	622,080

STS-18	933,120
STS-24	1244,160
STS-36	1866,240
STS-48	2488,320

Соответствие каналов SONET и SDH приведено ниже[W. Simpson RFC-1619 «PPP over SONET/SDH»] (и тот и другой могут использоваться для организации связей по схеме PPP):

sonet	Sdh
STS-3c	STM-1
STS-12c	STM-4
STS-48c	STM-16

SONET (стандарт ANSI, предназначенный для замены NADH – north american digital hierarchy) использует улучшенную PDH – (Plesiochronous Digital Hierarchy – plesios – близкий (греч.)) схему мультиплексирования каналов. В плезиохронной (почти синхронной) иерархии используется мультиплексирование с чередованием бит, а не байт. Мультиплексор формирует из N входных потоков один выходной (сети, где разные часы сфазированы с разными стандартами, но все они привязаны к одной базовой частоте называются плезиохронными). Так как скорости разных каналов могут не совпадать и нет структур, которые могли бы определить позиции битов для каждого из каналов, используется побитовая синхронизация. Здесь мультиплексор сам выравнивает скорости входных потоков путем введения (или изъятия) соответствующего числа бит. Информация о введенных и изъятых битах передается по служебным каналам. Помимо синхронизации на уровне мультиплексора происходит и формирование кадров и мультикадров. Так для канала T2 (6312 кбит/с) длина кадра равна 789 бит при частоте кадров 8 кГц. Мультикадр содержит 12 кадров. Помимо европейской и американской иерархии каналов существует также японская. Каждая из этих иерархий имеет несколько уровней. Сравнение этих иерархий представлено в табл. 4.3.6.1.

Таблица 4.3.6.1

Сравнение европейской и американской иерархии каналов

Уровень иерархии	Скорости передачи для иерархий		
	Американская 1544 Кбит/с	Европейская 2048 Кбит/с	Японская 1544 Кбит/с
0	64 (DS0)	64	64
1	1544 (DS1)	2048 (E1)	1544 (DS1)
2	6312 (DS2)	8448 (E2)	6312 (DS2)
3	44736 (DS3)	34368 (E3)	32064 (DSJ3)
4	274176 (Не входит в рекомендации МСЭ-Т)	139264 (E4)	97728 (DSJ4)

Но добавление выравнивающих бит в PDH делает затруднительным идентификацию и вывод потоков 64 Кбит/с или 2 Мбит/с, замешанных в потоке 140 Мбит/с, без полного демультиплексирования и удаления выравнивающих бит. Если для цифровой телефонии PDH до-

статочна ефективна, то для передачі даних вона оказалась недостаточна гнучкою. Именно это обстоятельство определило преимущество систем SONET/SDH. Эти виды иерархических систем позволяют оперировать потоками без необходимости сборки/разборки. Структура кадров позволяет выполнять не только маршрутизацию, но и осуществлять управление сетями любой топологии. Здесь использован чисто синхронный принцип передачи и побайтовое, а не побитовое чередование при мультиплексировании. Первичной скоростью SONET выбрана 50688 Мбит/с (OC1). Число уровней иерархии значительно расширено (до 48). Кратность уровней иерархии равна номеру уровня.

ССИТТ выработал следующие рекомендации на эту тему: G.707, G.708 и G.709. ССИТТ разработал рекомендации для высокоскоростных каналов H:

H0		384 Кбит/с=4*64 Кбит/с. 3*h0=1,544 Мбит/с
H1	H11	1536 Кбит/с
	H12	1920 Кбит/с
h4		~135 Мбит/с
H21		~34 Мбит/с
H22		~55 Мбит/с.

На нижних уровнях SDH и SONET в некоторых деталях различаются. Внедрение стандарта SONET ликвидировало многие недостатки каналов T-1 (ограничения на размер максимальной полезной нагрузки, простота стыковки скоростных каналов связи). SONET хорошо согласуется с ATM и FDDI, что создает фундаментальный базис для широкополосных сетей ISDN (B-ISDN). Следует учитывать, что SONET сохраняет совместимость с уже существующими каналами, убирая лишь некоторые присущие им недостатки. Одним из базовых каналов сегодня является T-1 (1544 Кбит/с для США). Он содержит в себе 24 субканалов DS-0 (digital signal at zero level, 64 Кбит/с, США). Мультиплексирование 24 каналов DS-0 по времени формирует канал DS-1 (24 канала*64 Кбит/с)+8 Кбит/с=1544 Кбит/с, последнее слагаемое связано с заголовками информационных блоков). Этой величине соответствует в Европе 2048 Кбит/с (канал E-1 = 30*ds0). Два канала T-1 образуют канал T-1с, четыре канала T-1 формируют канал T-2, а семь T-2 (28 T-1) образуют T-3. Для оптических систем связи в качестве базового принят канал OC-1, равный по пропускной способности T-3. А кадр STS-1 выбран в качестве основного в системе SONET. Кадр STS-1 имеет 9 строк и 90 столбцов (810 байт). Кадры передаются с частотой 8 кГц, что дает для канала STS-1 51840 Кбит/с = 8000 Гц*810 байт*8 бит. Эта цифра характеризует физическую

скорость обмена, включающую в себя передачу служебной информации (заголовков), эффективная информационная пропускная способность равна 50112 Кбит/с. Быстродействие каналов более высокого уровня SONET получается умножением пропускной способности STS-1 (51,84 Мбит/с) на целое число. Так пропускная способность OC-3 будет равна 155,52 Мбит/с, а OC-24 – 1244,16 Мбит/с и т. д. Целью создателей SONET была прямая стыковка оптических каналов различных сервис-провайдеров (вспомним, что непосредственное соединение каналов T-1 и E-1 не возможно). SDH допускает сцепление нескольких контейнеров (в том числе и разных размеров), если в один контейнер данные не помещаются. Допускается объединение нескольких контейнеров равного размера в один большой. Хотя относительный размер заголовка виртуального контейнера невелик (~3,33 %), его объем достаточен для передачи достаточно больших объемов служебной информации (до 5,184 Мбит/с).

В SONET предусмотрено четыре варианта соединений: точка-точка, линейная цепочка (add-drop), простое кольцо и сцепленное кольцо (interlocking ring). Линейные варианты используются для ответвлений от основного кольца сети. Наиболее распространенная топология – самовосстанавливающееся кольцо (см. также FDDI). Такое кольцо состоит из ряда узлов, которые связаны между собой двухсторонними линиями связи, образующими кольцо и обеспечивающими передачу сообщений по и против часовой стрелки. Способность сетей SONET к самовосстановлению определяется не только топологией, но и средствами управления и контроля состояния. При повреждении трафик перенаправляется в обход, локально это приводит к возрастанию информационного потока, по этой причине для самовосстановления сеть должна иметь резерв пропускной способности (как минимум двойной). Но, проектируя сеть, нужно избегать схем, при которых основной и резервный маршрут проходят через одну и ту же точку, так как они могут быть, если не повезет, повреждены одновременно. Резервные пути могут использоваться для низкоприоритетных обменов, которые могут быть заблокированы при самовосстановлении. Сети SONET (и SDH) имеют 4 архитектурных уровня:

- фотонный (photonic) – нижний уровень иерархии. Этот уровень определяет стандарты на форму и преобразование оптических сигналов, на электронно-оптические связи.
- секционный (section) – предназначен для управление передачей STS-кадров (sonet) между терминалами и повторителями. В его функции входит контроль ошибок.
- линейный (line) – служит для синхронизации и мультиплексирования, осуществляет связь между отдельными узлами сети и термини-

нальным оборудованием, например линейными мультиплексорами, выполняет некоторые функции управления сетью.

- маршрутный (path) – описывает реальные сетевые услуги (Т-1 или Т-3), предоставляемые пользователю на участке от одного терминального оборудования до другого.

При передаче по сети SDH информация вкладывается в специальные структуры, называемые виртуальными контейнерами (VC). Эти контейнеры состоят из двух частей:

- 1) собственно контейнер (С), где лежит передаваемая информация;
- 2) заголовок (path overhead – ПОН), который содержит вспомогательную информацию о канале, управляющую информацию, связанную с маршрутом передачи.

Описано несколько типов виртуальных контейнеров для использования в различных каналах.

Таблица 4.3.6.2

Виды виртуальных контейнеров

Виртуальный контейнер	Поддерживаемые услуги
VC-11	1.544 Мбит/с североамериканские каналы
VC-12	2.048 Мбит/с европейские каналы
VC-2	6.312 Мбит/с каналы (используются редко). VC-2 могут также объединяться для достижения больших скоростей
VC-3	34.368 Мбит/с и 44.736 Мбит/с каналы
VC-4	139.264 Мбит/с каналы и другие высокоскоростные услуги

В схеме мультиплексирования применены следующие обозначения:

- С-п Контейнер уровня n (n=1,2,3,4);
- VC-n Виртуальный контейнер уровня n (n=1,2,3,4);
- TU-n Трибные блоки уровня n (n=1,2,3);
- TUG-n Группа трибных блоков n (n=2,3);
- AU-n Административные блоки уровня n (n=3,4);
- AUG Группа административных блоков (стандарт G.709).

Для управления SDH/SONET используется протокол SNMP (см. RFC-1595, «Definitions of Managed Objects for the SONET/SDH Interface Type») и база данных MIB. Архитектура сети, базирующейся на SDH, может иметь кольцевую структуру или схему точка-точка.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Модемы

Само название этого прибора происходит от имеющихся в нем модулятора и демодулятора. Современный модем можно отнести к числу устройств с наибольшим числом современных технологий на кубический сантиметр. Разнообразие модемов огромно. Они различаются по конструкции, по используемым протоколам, по характеру интерфейсов и т. д. Основное назначение модема оптимальное преобразование цифрового сигнала в аналоговый для передачи его по каналу связи и, соответственно, обратное преобразование на принимающей стороне. Под «оптимальным преобразованием» понимается такое, которое обеспечивает надежность связи, улучшает отношение сигнал шум и как следствие пропускную способность канала. Это преобразование необходимо для обеспечения улучшения отношения сигнал-шум. В качестве канала передачи данных может быть использована городская телефонная сеть, выделенная линия или радио-канал.

По существу, когда вы покупаете модем, вы платите за повышение отношения сигнал-шум. По числу патентов на кубический сантиметр модемы находятся на лидирующей позиции.

Схема взаимодействия модемов показана на рис. 31.

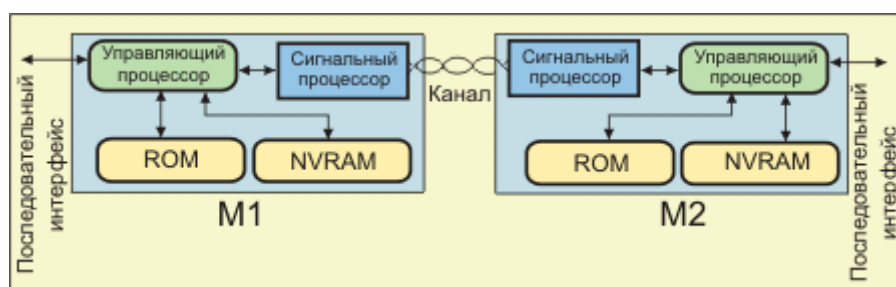


Рис. 31. Схема соединения двух модемов (M1 и M2) через канал

В качестве последовательного интерфейса может выступать RS-232, V.35, G.703 и т. д. Все модемы содержат в себе управляющий микропроцессор, постоянную память (ROM), куда записано фирменное программное обеспечение и интерпретатор команд, энергонезависимую память (NVRAM – non-volatile RAM), которая хранит конфигурационные профайлы модема, телефонные номера и т. д., буфер ввода/вывода (128...256 байт), сигнальный процессор (DSP), включающий в себя модулятор и демодулятор, интерфейс для связи с ЭВМ (RS-232) и оперативную память.

Первоначально модемы использовались для связи через традиционные коммутируемые телефонные линии. Так как такие линии содержат только два провода, а информационный обмен должен происходить в обоих направлениях одновременно, возникает проблема отделения передаваемого сигнала от приходящего извне (подавление эхо; см. раздел 2.1). Для выделенных четырехпроводных линий эта проблема значительно упрощается, здесь прием и передача осуществляется по разным скрученным парам и эхо возникает лишь из-за перекрестных наводок (NEXT). Модемы подключаются к последовательным интерфейсам ЭВМ (COM-порт, RS-232), иногда для подключения модема используется специальная плата расширения, которая имеет дополнительные буферы и помогает достичь большего сжатия информации, существуют модемы, подключаемые и к параллельному порту ЭВМ. Модемы (микромодемы) могут работать не только через общедоступную телефонную сеть, они могут найти применение при соединении терминалов или ЭВМ в пределах организации, если расстояние между ними исчисляются сотнями метров (а иногда и километрами). В этом случае они помогают повысить надежность связи и исключить влияние разностей потенциалов между земляными шинами соединяемого оборудования. Микромодемы не требуют подключения к сети переменного тока, так как получают питание через разъем последовательного интерфейса (RS-232).

Все протоколы модемов утверждаются международным телекоммуникационным союзом (ITU), ранее за это был ответственен Консультативный комитет ССИТТ. Асинхронные модемы поддерживают определенный набор команд, который был впервые применен фирмой Hayes в модеме smartmodem 1200. Модемы, придерживающиеся этого стандарта, называются Hayes-совместимыми. Совместимость предполагает идентичность функций первых 28 управляющих регистров модема (всего модем может иметь более сотни регистров). Почти все внутренние команды начинаются с символов AT (attention) и имеют по три символа. По этой причине их иногда называют AT-командами. Hayes-совместимость гарантирует, что данный модем будет работать со стандартными терминальными программами. Реально набор команд для модемов разных производителей варьируется в широких пределах. Для синхронных модемов набор команд регламентируется стандартом V.25bis. Ниже (табл. 4.3.7.1) приводится перечень стандартных модемных протоколов и стандартов.

Начиная с модемов V.32bis, стала использоваться динамическая регулировка скорости в ходе телекоммуникационной сессии в зависимости от состояния линии связи. Качество линии отслеживается по отношению сигнал/шум или по проценту блоков, переданных с ошибкой за определенный период времени.

Таблица 4.3.7.1

Основные протоколы модемов

Название	Тип модуляции	Назначение протокола
V.21	FSK	Дуплексный модем на 300 бит/с для телефонных сетей общего назначения, используется факс-аппаратами и факс-модемами
V.22	DPSK	Дуплексной модем для работы при скоростях 600/1200 бит/с
V.22bis	QAM	Дуплексной модем для работы при скоростях 1200/2400 бит/с
V.23	FSK	Асинхронный модем на частоту 600/1200 бит/с (сети videotex), несовместим с V.21, V.22 и V.22bis
V.24		Стандарт на схемы сочленения DTE и DCE
V.26		Модем для работы на выделенную линию на частотах 2400/1200 бит/с
V.27		Модем для работы на частотах 4800 бод/с
V.27bis		Модем для работы на выделенную линию на частотах 2400/4800 бит/с
V.27ter	DPSK	Модем с набором телефонного номера на частоту 2400/4800 бит/с (fax)
V.29	QAM	Модем на частоту 9600 бит/с для 4-проводных выделенных линий (fax)
V.32	QAM tcm	Семейство 2-проводных модемов, работающих на частотах до 9600 бит/с
V.32bis	TCM	Модем, работающий на выделенную линию для частот 7200, 12000 и 14400 бит/с
V.33	TCM	Модем на частоту 14.4 кбит/с для выделенных линий
V.34		Модем на частоту 28.8 кбит/с, использован новый протокол установления связи
V.34bis		Модем на частоту 32 кбит/с
V.35		Модем, работающий на выделенную линию с частотами до 9600 бит/с
V.42bis		Стандарт для сжатия данных в модемах (4:1)

Важным свойством модемов является возможность коррекции ошибок и сжатия информации. Ошибки корректируются путем повторной пересылки ошибочных блоков (ARQ – automatic repeat request). Ошибки контролируются с использованием CRC (cyclic redundancy check). Этим целям отвечает стандарт V.42, принятый еще в 1988 году, он включает в себя протокол LAPM (link access procedure for modems) и один из протоколов mnp (microcom networking protocol). В V.42 применен алгоритм сжатия

информации Lempel-Ziv. При установлении связи между модемами определяется, какой из протоколов коррекции и сжатия они оба поддерживают. Если это V.42, то они сначала пытаются работать с использованием протокола LAPM. При неудаче (один из модемов не поддерживает V.42) используется протокол MNP. Перечисленные ниже алгоритмы коррекции ошибок и сжатия информации работают только для асинхронных модемов. Для синхронных модемов известен алгоритм сжатия SDS (synchronous data compression) фирмы motorola (коэффициент упаковки ~3.5, что для модемов V.34 может довести скорость обмена до 100 кбит/с).

К телефонной сети модем подключается с помощью 6-х контактного разъема RJ11 (используется 4 контакта).

Модем может находиться в режиме данных (режим по умолчанию) и в командном режиме. Последний используется для реконфигурации модема и подготовки его к работе. Реконфигурация и управление возможны из локальной ЭВМ через последовательный порт, с передней панели модема, или при установленной связи через удаленный модем, если такой режим поддерживается. Переключение в командный режим производится с помощью ESC-последовательности (по умолчанию это три символа «+» с предшествующей и последующей секундной паузой).

При использовании большого числа модемов они для удобства обслуживания объединяются в группы (пулы). Модемный пул представляет в себя стандартный каркас, где размещается какое-то количество бескорпусных модемов. На передней панели находится, как правило, только индикация, выходы в телефонную сеть и разъемы последовательного интерфейса подключаются через заднюю панель. Такой пул содержит в себе обычно управляющий процессор. Так как в настоящее время не существует стандартов на организацию модемных пулов, они ориентированы на использование модемов только определенной фирмы. К пулу может подключаться дисплей, который отображает текущее состояние всех модемов. Процессор может контролировать состояние модемов, устанавливать их режим работы, а в некоторых случаях и выполнять функцию маршрутизатора, управляя встроенным многоканальным, последовательным интерфейсом. В последнем случае такой пул подключается непосредственно к локальной сети (например, Ethernet), а не к ЭВМ. Пул позволяет предотвращать «повисание» и отключение телефонных линий, что заметно повышает надежность системы. Некоторые модемы (например, фирмы Pengil) имеют независимые узкополосные (~300 бит/с), дополнительные каналы для дистанционного управления. Такие каналы обладают повышенной устойчивостью, что позволяет сохранять целостность системы даже при временных отключениях электропитания.

Протоколы передачи файлов

Ymodem	Протокол использует CRC-16, передает имена файлов, размер, дату создания и время, в зависимости от условий передачи размер блока варьируется от 128 до 1024 байт (Чак Форсберг, 1984–85).
Sealink	Модификация протокола ymodem.
Zmodem	Протокол использует CRC-32 (или CRC-16), динамическое изменение размера блока (32...1024 байта), автоматический выбор протокола обмена, сжатие файлов при пересылке, возобновление передачи с прерванного места в случае разрыва связи. На сегодня это самый совершенный протокол.

Чтобы обеспечить безопасность и исключить несанкционированный доступ к сети, можно воспользоваться методом «обратного телефонного вызова», некоторые модемы реализуют его аппаратно. Метод предполагает, что после установления связи и проверки авторизации связь прерывается, а входной модем сети производит набор номера клиента, который хранится в памяти, и устанавливает связь повторно. Такая схема исключает передачу входного пароля друзьям или знакомым, так как это становится бессмысленным – модем будет пытаться установить связь по номеру вашего домашнего телефона.

В настоящее время технология модемов продолжает развиваться, появились и активно внедряются кабельные модемы, много усилий тратится на развитие ADSL (asymmetric digital subscriber line), SDSL (single line digital subscriber line), HDSL (high data rate digital subscriber line), VDSL (very high data rate digital subscriber line) и некоторых других технологий, связанных с передачей мультимедиа данных. Эти технологии предназначены для обеспечения широкополосного канала между провайдером и конечным пользователем (проблема последней мили). Здесь используются три метода модуляции (2B1Q, CAP и DMT). ADSL позволяет приспособить обычные телефонные линии для мультимедийных приложений и для высокоскоростной передачи данных (до 6 Мбит/с). Два ADSL-модема, соединенные скрученной парой проводов образуют три информационных канала: скоростной однонаправленный (нисходящий) канал (1,5...6,1 Мбит/с), среднескоростной дуплексный канал (16...640 Кбит/с) и POTS-канал (plain old telephone service). POTS сохраняет работоспособность даже при отказе ADSL. Каждый из этих каналов может мультиплексироваться, образуя каналы меньшего быстродействия. ADSL-модемы могут работать и с АТМ-сетями, но следует учитывать их принципиальную асимметричность – передача в одном направлении и в другом имеет разную скорость. Для передачи данных в

сети Интернет это не удобно. Но для транспортировки телевизионного сигнала такая схема представляется вполне эффективной.

Для провода длиной 5,5 км при диаметре сечения 0,5 мм (стандартные условия для isdn) пропускная способность составляет 1,5...2,0 Мбит/с (верхний край полосы пропускания около 1 МГц). При организации дуплексного канала весь частотный диапазон делится пополам и одна из частей используется для передачи данных в одном направлении, другая – в противоположном. Каждый из частотных диапазонов в свою очередь делится на части и для каждой из них используется техника эхо-подавления. Для POTS-канала выделяется 4 кГц в низкочастотной части диапазона.

HDSL представляет собой способ передачи потоков T1 или E1 по скрученным парам проводов с использованием улучшенной техники модуляции (для передачи 1,544...2,048 Мбит/с достаточно полосы 80...240 кГц). SDSL представляет собой версию HDSL с одной скрученной парой. Ниже в табл. 4.3.7.5 приведены сравнительные данные для различных систем передачи информации.

Таблица 4.3.7.5

Свойства различных систем (модемов) передачи информации.

Название	Расшифровка	Длина канала при 24 awg (0,5 мм)	Быстродействие	Применение
V.22 V.32 V.34	Модемы голосового диапазона	12 км	1200 бит/с 28800 бит/с	Передача данных
DSL	digital subscriber line	5,4 км	160 Кбит/с	Услуги ISDN, передача данных и голоса
HDSL	high data rate digital subscriber line	3,6 км	1,544 Мбит/с 2,048 Мбит/с	t1/e1 каналы, локальные и региональные сети.
SDSL	single line digital subscriber line	-	1,544 Мбит/с 2,048 Мбит/с	t1/e1 каналы, локальные и региональные сети
ADSL	asymmetric digital subscriber line	3,6/5,4 км	1,5...9 Мбит/с или 16...640 Кбит/с	Доступ к Интернет, видео, интерактивное мультимедиа.
VDSL	very high data rate digital subscriber line	-	13...52 Мбит/с или 1,5...2,3 Мбит/с	То же, что и ADSL плюс HDTV

Верхние значения в третьей колонке для ADSL и VDSL соответствуют нисходящему (асимметричный канал) и дуплексному потокам. HDTV – телевидение высокого разрешения.

Повторители, мосты, коммутаторы и маршрутизаторы

На физическом уровне пакет представляет собой цуг импульсов, распространяющихся по коаксиальному кабелю, скрученной паре или оптическому волокну. За счет дисперсии, частичным отражениям от точек подключения и поглощению в среде импульсы в пакете «расплываются» и искажаются (ухудшается отношение сигнал/шум), это является одной из причин ограничения длин кабельных сегментов. Для преодоления этих ограничений вводятся сетевые повторители (repeater). Повторитель воспринимает входные импульсы, удаляет шумовые сигналы и передает вновь сформированные пакеты в следующий кабельный сегмент или сегменты. Никакого редактирования или анализа поступающих данных не производится. Задержка сигнала повторителем не должна превышать 7,5 тактов (750 нсек для обычного Ethernet). Повторители могут иметь коаксиальные входы/выходы, AUI-разъемы для подключения трансиверов или других аналогичных устройств, или каналы для работы со скрученными парами.

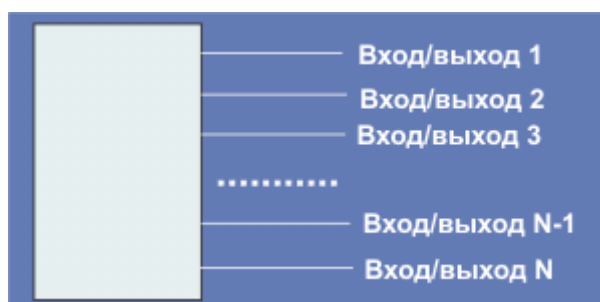


Рис. 33. Схема сетевого повторителя

Все входы/выходы повторителя с точки зрения пакетов эквивалентны. Если повторитель многовходовый, то пакет пришедший по любому из входов будет ретранслирован на все остальные входы/выходы повторителя. Чем больше кабельных сегментов объединено повторителями, тем больше загрузка всех сегментов. При объединении нескольких сегментов с помощью повторителя загрузка каждого из них становится равной сумме всех загрузок до объединения. Это справедливо как для коаксиальных кабельных сегментов, так и для повторителей, работающих со скрученными парами (хабы – концентраторы). Некоторые повторители контролируют наличие связи между портом и узлом (link status), регистрируют коллизии и затянувшиеся передачи (jabber – узел

осуществляет передачу дольше, чем это предусмотрено протоколом), выполняют согласование типа соединения (autonegotiation). В этом случае они обычно снабжены SNMP-поддержкой.

Для блокировки размножения пакетов и нежелательных транзитов преодоления сетевые мосты или коммутаторы. Мост соединяет два сегмента сети, при инициализации он изучает списки адресов устройств, подсоединенных к каждому из сегментов. В дальнейшем мост записывает в свою память эти списки и пропускает из сегмента в сегмент лишь транзитные пакеты. Существуют мосты, которые оперируют с физическими и с IP-адресами (см. стандарт IEEE 802.1d).



Рис. 34. Схема сетевого моста

Мост является активным устройством, которое способно адаптироваться к изменениям в окружающей сетевой среде. При этом пакеты, отправленные из сегмента А и адресованные устройству, которое подключено к этому же сегменту, никогда не попадут в сегмент Б и наоборот. Через мост проходят лишь пакеты, отправленные из сети А в Б или из Б в А.

Мосты при разумном перераспределении серверов и рабочих станций по сетевым сегментам позволяют выровнять и даже эффективно снизить среднюю сетевую загрузку. Когда на один из входов моста приходит пакет, производится сравнение адреса получателя с содержимым внутренней базы данных. Если адрес в базе данных отсутствует, мост посылает широковещательный запрос в порт, противоположный тому, откуда получен данный пакет с целью выяснения местоположения адресата. Понятно, что появление в субсетях а и Б двух объектов с идентичными адресами ни к чему хорошему не приведет. При поступлении отклика вносится соответствующая запись в базу данных. Параллельно анализируется и адрес отправителя и, если этот адрес в базе данных отсутствует, производится его запись в банк адресов соответствующего порта. В базу данных записывается также время записи адреса в базу данных. Содержимое базы данных периодически обновляется.

К любой подсети может вести несколько путей, но для нормальной работы мостов и коммутаторов все пути кроме одного должны быть заблокированы. Функциональная схема работы моста показана на рис. 35. Сети, между которыми включается мост, не обязательно должны рабо-

тать согласно идентичным протоколам. Возможны мосты между Ethernet и Token Ring или между Ethernet и ATM.

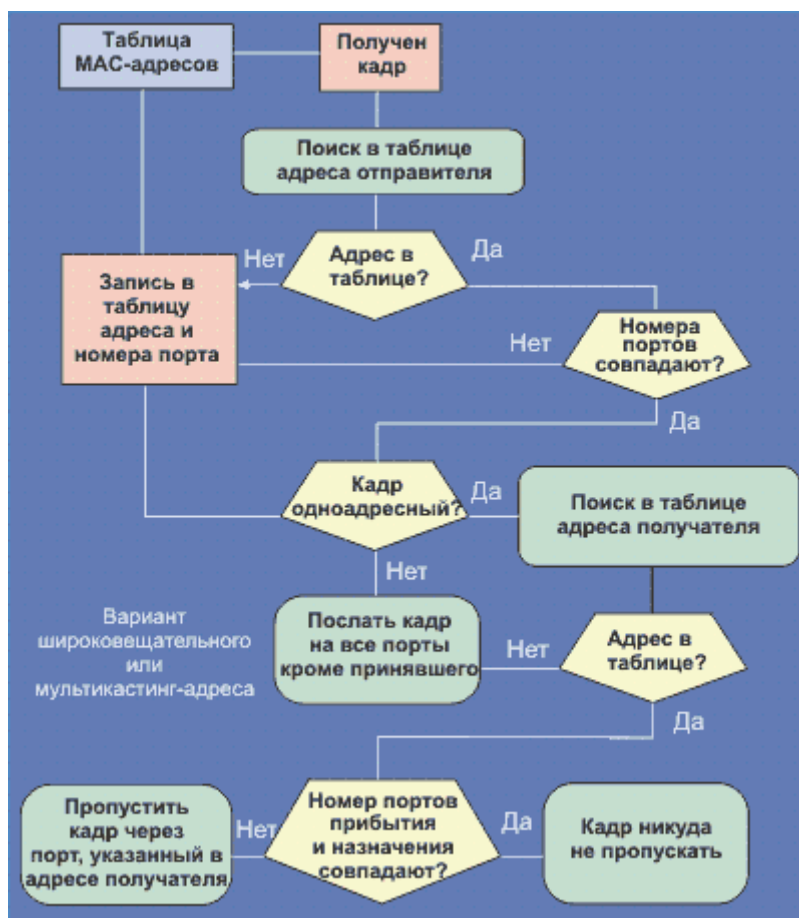


Рис. 35. Блок-схема работы сетевого моста

Мост, имеющий более двух портов, называется коммутатором. Первый коммутатор был разработан фирмой Калпане в 1991 году. Иногда коммутаторы называются выполняют роль маршрутизатора тем более что некоторые из них поддерживают внутренние протоколы маршрутизации (например, RIP). Некоторые современные коммутаторы способны фильтровать пакеты по IP-адресам и даже портам (L4!). Коммутаторы имеют внутреннюю параллельную магистраль очень высокого быстродействия (от десятков мегабайт до гигабайт в сек.). Эта магистраль позволяет коммутатору совместить преимущества повторителя (быстродействие) и моста (разделение информационных потоков) в одном устройстве. Схемы реализации коммутаторов варьируются значительно, каких-либо единых стандартов не существует. Алгоритм работы с адресами здесь тот же, что и в случае мостов. В последнее время коммутаторы стали наиболее широко используемыми сетевыми приборами, так как они практически исключают коллизии.

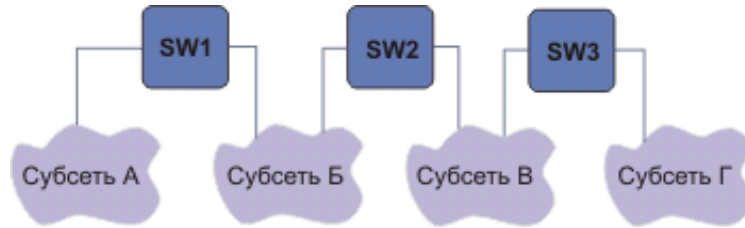


Рис. 36. Пример сети с тремя коммутаторами и четырьмя субсетями

Если предположить, что в каждой из субсетей содержится порядка 250 ЭВМ, то число записей в хэш-таблицах коммутаторов может достигать 1000, и это не предел. Ведь любой из коммутаторов должен знать, куда передавать кадры, адресованные ЭВМ из любой субсети. К сожалению, поставщики сетевого оборудования редко сообщают предельные объемы маршрутных таблиц.



Рис. 37 Схема 8-входового сетевого коммутатора

На рис. 37 приведена схема 8-входового коммутатора. В коммутаторе все входы идентичны, но внешняя информация, записанная в их память, делает входы неэквивалентными. Определенные проблемы возникают, когда к одному из входов коммутатора подключен сервер, с которым работают пользователи подключенные к остальным входам. Если все ЭВМ, подключенные к коммутатору, одновременно попытаются обратиться к серверу, коммутатор перегрузится и все каналы будут на некоторое время блокированы (будет послан сигнал перегрузки – jam). При данной схеме вероятность таких событий значительна, так как несколько каналов с пропускной способностью 10 Мбит/с работают на один общий канал с той же полосой пропускания. Для преодоления проблем этого рода следует распределять нагрузки между портами коммутатора равномерно, а также подключать серверы через полнодуплексные каналы. Полнодуплексные каналы полезны и для соединения коммутаторов между собой. Современные коммутаторы имеют много

различных возможностей – SNMP поддержка, автоматическая настройка быстрогодействия и определения типа соединения (дуплексная/полудуплексная). Имеется возможность внешней загрузки программы работа коммутатора.

В отличие от повторителей, число мостов/коммутаторов в локальной сети не регламентировано. Коммутаторы позволяют построить сеть практически неограниченного размера, например Москва-Пекин.

Существуют коммутаторы, работающие в режиме «на пролет» (cut through). Здесь первые биты пакета поступают на выход коммутатора, когда последующие еще только приходят на вход. Задержка в этом случае минимальна, но коммутатор пропускает через себя пакеты, поврежденные в результате столкновений. Альтернативой такому режиму является передача через буферную память (схема передачи SAF – Store And Forward). Поврежденные пакеты в этом режиме отбрасываются, но задержка заметно возрастает. Кроме того, буферная память должна иметься на всех входах (или общая многопортовая). При проектировании сетей следует иметь в виду, что коммутаторы превосходят маршрутизаторы по соотношению производительность/цена.

При проектировании локальной сети следует учитывать то обстоятельство, что узлы с самым напряженным трафиком должны располагаться как можно ближе к повторителю. В этом случае среднее число коллизий в единицу времени будет ниже. По этой причине сервер должен располагаться как можно ближе к повторителю или другому сетевому устройству (см. рис. 39).

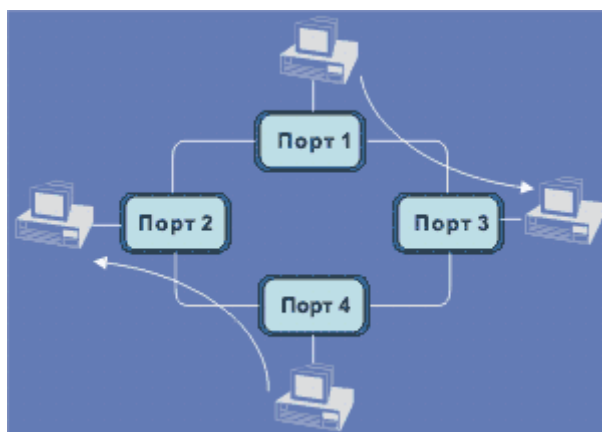


Рис. 38. Вариант схемы внутренних связей коммутатора

Схема внутренних связей коммутатора может отличаться от приведенной на рис. 37 и иметь конфигурацию, показанную на рис. 38. Привлекательность такой схемы заключается в возможности реализации обмена по двум непересекающимся направлениям одновременно. При

этом эффективная пропускная способность многопортового коммутатора может в несколько раз превосходить полосу пропускания сети, например, 10 Мбит/с.

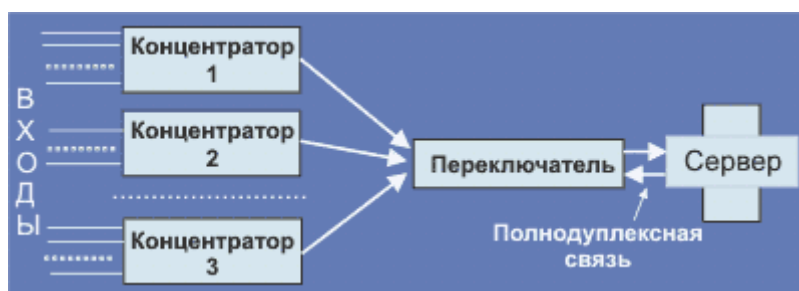


Рис. 39. Схема подключения сервера к коммутатору

При использовании в сети большого числа мостов и/или коммутаторов может сформироваться топология связей, когда от одного сегмента к другому пакет может попасть более чем одним путем. Приведенная на рисунке схема неработоспособна и некоторые связи должны быть ликвидированы. В данном примере проблема может быть решена удалением мостов BR-2 и BR-3 или разрывом связей, помеченных символом «X».

Таблица стандартов уровня MAC

802.1s	Multiple Spanning Trees
802.1D	MAC бриджи
802.1G	Удаленные MAC-бриджи
802.1Q	Виртуальные LAN
802.1w	Быстрая реконфигурация STP
802.1x	Доступ к сети на основе номера порта
802.1v	Классификация VLAN на основе протокола и номера порта

Некоторые современные мосты используют так называемую маршрутизацию отправителя (source routing). Такая маршрутизация предполагает, что отправитель знает, находится ли адресат в пределах локальной сети и может оптимально определить путь доставки. При посылке кадра другой сети отправитель устанавливает старший бит своего адреса равным единице. Одновременно в заголовке кадра прописывается весь маршрут. Каждой сети присваивается 12-битовый идентификатор, а каждому мосту ставится в соответствие 4-битовый код, уникальный в контексте данной сети. Это означает, что мосты в пределах одной сети должны иметь разные идентификаторы, но их коды могут совпадать, если они находятся в разных сетях. Мост рассматривает только кадры с единицей в старшем бите адреса места назначения. Для этих кадров просматриваются коды сети в списке, за-

писанном в заголовке. Если в списке содержится код, совпадающий с тем, который характеризует сеть, где находится мост, кадр переадресуется в эту сеть. Реализация алгоритма может осуществляться программно или аппаратно. Если путь до места назначения неизвестен, отправитель генерирует специальный пакет, посылаемый ширококестельно (discovery frame) и достигающий всех мостов и всех субсетей. Когда приходит отклик от адресата, мосты записывают его идентификатор, а первичный отправитель фиксируют маршрут до адресата. Данный алгоритм достаточно прост, но сопряжен с лавинным размножением исследовательских" пакетов особенно в случае, когда смежные сети соединяются через несколько мостов/коммутаторов.

Маршрутизатор отличается от коммутатора тем, что поддерживает хотя бы один протокол маршрутизации. Существуют внутренние и внешние протоколы маршрутизации. Если маршрутизатор осуществляет связь данной автономной системы с другими автономными системами, его называют пограничным (border). Маршрутизатор же, который имеет только один внешний канал связи, в литературе часто называют gateway (входной порт сети). Любой маршрутизатор может поддерживать в любой момент только один внутренний и один внешний протокол маршрутизации, выбор этих протоколов осуществляет администратор сети из имеющегося списка. Маршрутизаторы представляют собой наиболее сложные сетевые устройства.

Одним из основных достоинств маршрутизаторов в локальной сети является ограничение влияния потоков ширококестельных сообщений...

Обязательным компонентом маршрутизатора является таблица маршрутизации, которая формируется протоколом маршрутизации или сетевым администратором. По мере роста скорости каналов связи возросли требования к быстродействию внутренней шины этих аппаратов. На рис. 40. показана крайне упрощенная схема такого устройства.

В последнее время заметное распространение получил гибридный маршрутизатор и моста – brouter. Некоторые протоколы (например, NetBIOS) не допускают маршрутизации. Когда необходимо использовать такие протоколы совместно с TCP/IP, необходим brouter. Широко используются такие приборы в сетях Token Ring.

Особый класс образуют мультиплексоры/демультиплексоры, которые используют собственные протоколы и служат для предоставления общего канала большому числу потребителей. Эти устройства широко используются при построении сетей типа Интранет (корпоративные сети, где субсети разных филиалов разнесены на большие расстояния). Такие сети строятся на базе специальных выделенных каналов, а мультиплексоры позволяют использовать эти каналы для предоставления

комплексных услуг: телефонной связи, передачи факсов и цифровой информации, экономя значительные средства.



Рис. 40. Схема обработки пакетов в маршрутизаторе

Если перед вами стоит задача создания локальной сети с выходом в Интернет, вам нужно последовательно решить ряд проблем помимо финансовых. Должны быть сформулированы задачи, ради которых эта сеть создается, определена топология сети, число сегментов и характер их связей, число ЭВМ-участников, определен сервис-провайдер, или провайдеры, если вам нужно обеспечить более высокую надежность и живучесть сети. Вам надо оценить требуемую загрузку сегментов сети и внешних каналов связи, выбрать программную среду. После этого вы можете приступить к составлению списка необходимого оборудования и программного обеспечения. Если ваша сеть является окончательной и она имеет только один внешний канал связи, вам не нужен маршрутизатор и вы можете ограничиться ЭВМ-портом (gateway), которая должна иметь необходимый интерфейс. Внешним каналом может стать коммутируемая телефонная сеть, выделенная телефонная линия, оптоволоконный кабель или радиорелейный канал. Во всех перечисленных случаях вам будет необходим соответствующий модем.

ПРОТОКОЛ STP И РЕАЛИЗАЦИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПОДСЕТЕЙ VLAN

Проблему ликвидации связей, способных привести к заикливанию, решает протокол **STP** (Spanning Tree Protocol; алгоритм предложен Пёлманом в 1992 году), который автоматически блокирует некоторые соединения, а в случае недоступности основного пути открывает эти заблокированные соединения, обеспечивая высокую надежность сети. STP является частью протокола мостов IEEE 802.1s (1990 г.).

При использовании протокола STP каждой связи присваивается при конфигурации определенный вес (чем меньше, тем выше приоритет). Мосты периодически рассылают специальные сообщения (BPDU – Bridge Protocol Data Unit), которые содержат коды их уникальных идентификаторов, присвоенные им при изготовлении. Мост или коммутатор с наименьшим значением такого кода становится корневым («корень дерева»). Затем выявляется наикратчайшее расстояние от корневого моста/коммутатора до любого другого моста в сети. Граф, описывающий дерево наикратчайших связей, и является «расширяющимся деревом». Такое дерево включает все узлы сети, но необязательно все мосты/коммутаторы. Этот алгоритм функционирует постоянно, отслеживая все топологические изменения.

Современные мосты позволяют создавать виртуальные субсети (VLAN), увеличивающие сетевую безопасность. VLAN позволяет ограничить зону распространения широковещательных пакетов, улучшая эксплуатационные характеристики сети в целом, смотри стандарт IEEE 802.1q. Здесь предусмотрены уровни конфигурации, распространения/разрешения и отображения. На уровне конфигурации используется протокол регистрации атрибутов GARP и основной протокол регистрации GVRP (служит для уведомления других коммутаторов о членстве в VLAN. Уровень распространения/разрешения задает правила присвоения идентификаторов входным пакетам (VID входного порта), и определяет выходные порты, куда пакет может быть доставлен. Значение VID для VLAN должно быть уникальным. VLAN на уровне L2 может включать в себя несколько коммутаторов, при этом транспортировка пакета по VLAN будет определяться значением VID. Принадлежность VLAN определяется с помощью сообщений GVRP, или конфигурируется вручную. При добавлении к пакету метки VID контрольная сумма CRC должна быть пересчитана. Самые продвинутые VLAN могут разделять трафик по классам обслуживания CoS (Class of Service). В этом

случае в каждом выходном порту коммутатора формируется несколько очередей, по одной для каждого значения CoS (смотри QoS в LAN).

VLAN позволяет ограничить зону распространения широковещательных пакетов, улучшая эксплуатационные характеристики сети в целом.

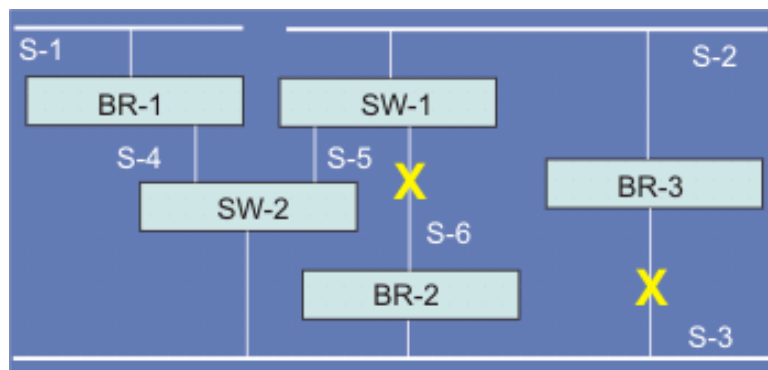


Рис. 41. Пример реализации алгоритма «расширяющееся дерево»

В стандарте IEEE 802.1p предусмотрено разделение трафика по приоритетам (CoS). В IEEE 802.1q предусмотрено 8 уровней приоритета трафика. Данная технология была реализована в сети 100VG-AnyLan (IEEE 802.12), где были предусмотрены очереди с высоким приоритетом (HPQ). 3-битовые коды CoS присваиваются пользователем. Поле CoS является частью 32-битовой метки пакета в стандарте 802.1q. Значения кодов CoS перечислены в таблице ниже.

Таблица классов трафика CoS (IEEE 802.1q)

Код приоритета пользователя	Класс приоритета трафика
111	Критически важный для сети <7>
110	Голосовой интерактивный <6>
101	Мультимедийный интерактивный <5>
100	Мультимедийный потоковый <4>
011	Важный для дела <3>
010	Стандартный <2>
001	Фоновый <1>
000	Наинизший <0>

VLAN могут строиться согласно протоколу IEEE 802.3ac (если имеющееся оборудование его поддерживает). Формат кадра этого протокола показан на рис. 42. Кадр при попадании во входной интерфейс VLAN снабжается 4-октетной меткой, которая анализируется коммутаторами 802.1q. Эта метка размещается в заголовке кадра между полями адреса отправителя и длины кадра (см. рис.). Когда кадр покидает

VLAN, метка из кадра удаляется. В остальных отношениях форматы кадров 802.3 и 802.3ac совпадают.



Рис. 42. Формат кадра уровня L2 в случае использования протокола 802.3ac

Следующим шагом в направлении развития технологии виртуальных локальных сетей является протокол **IEEE 802.1Q** (1998 год). Так как здесь приходится иметь дело с Ethernet, где нет возможностей ввести дополнительные поля, например, поле идентификатора VLAN, задача достаточно деликатна. Нельзя забывать о сотнях миллионах владельцах сетевых карт... Одним из возможных решений является подход, реализованный в протоколе коммутации кадров по меткам. К счастью поле идентификатора VLAN должно использоваться коммутаторами и маршрутизаторами, а не ЭВМ пользователей. Если сетевая карта не формирует идентификатор VLAN, он должен быть сформирован первым встретившимся коммутатором или маршрутизатором. Выходной коммутатор или маршрутизатор VLAN должны удалять эти идентификаторы. Эффективность технологии виртуальных локальных сетей будет много выше, когда стандарт 802.1Q будет поддерживаться сетевыми картами ЭВМ. Маршрутные таблицы в коммутаторах формируются автоматически с привлечением алгоритма Перлмана (описан в стандарте 802.1D).



Рис. 43. Формат кадра протокола 802.1q

Поле *идентификатор протокола VLAN (IDP VLAN)* имеет длину два байта и содержит код 0×8100 . Поскольку это число больше 1500, сетевые карты Ethernet будут интерпретировать его как тип, а не как длину. Как будет реагировать карта, неподдерживающая 802.1Q, получив такой кадр, сказать трудно. По этой причине это следует по возможности исключить. Структура полей *флаг* и *длина* представлена в нижней части рисунка. Поле *идентификатор VLAN* имеет длину 12 бит опреде-

ляет, какой виртуальной сети принадлежит кадр. Поле *приоритет* (три бита) позволяет выделять трафик реального времени, трафик со средними требованиями и трафик, для которого время доставки не критично. Это открывает возможность использования Ethernet для задач управления и обеспечения качества обслуживания при транспортировке мультимедийных данных. Однобитовое поле *CFI* (Canonical Format Indicator) первоначально определял, прямой или обратный порядок байт используется. В настоящее время его функцией (=1) является указание того, что в поле данных содержится кадр 802.5.

Группа IETF, разрабатывающая систему обеспечения требуемого уровня услуг на специфических нижних уровнях **ISSLL** (Integrated Services over Specific Lower Layers), предлагает способы отображения запросов протокола резервирования уровня L3 (RSVP) на 802.1p с помощью системы управления полосой пропускания субсети **SBM** (Subnet Bandwidth Manager). Протокол SBM предполагает, что одна из станций в субсети выполняет функцию **DSBM** (Designated SBM), и осуществляет управление доступом для всех запросов на резервирование ресурсов, посылаемых DSBM-клиентами. При работе протокола SBM используются мультикастинг-адреса 224.0.0.17 (все станции прослушивают этот адрес), а DSBM-кандидаты прослушивают – 224.0.0.16. Данная технология может использоваться, например, в IP-телефонии (TDMoIP – Time Division Multiplexing over IP). В этом случае UDP-порт получателя = 2142.

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

ADSL – (англ. Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия) – модемная технология, предназначенная для решения проблемы последней мили. Преобразует стандартные абонентские телефонные аналоговые линии в линии высокоскоростного доступа.

AppleTalk – стек протоколов, разработанных Apple Computer для компьютерной сети. Он был изначально включён в Macintosh (1984), сейчас компания отказалась от него в пользу TCP/IP.

ARP – (англ. Address Resolution Protocol – протокол разрешения адресов) – сетевой протокол, предназначенный для преобразования IP-адресов (адресов сетевого уровня) в MAC-адреса (адреса канального уровня) в сетях TCP/IP.

ATM – (англ. Asynchronous Transfer Mode – асинхронный способ передачи данных) – сетевая технология, основанная на передаче данных в виде ячеек (cell) фиксированного размера (53 байта), из которых 5 байтов используется под заголовок.

BPDU – (англ. Bridge Protocol Data Unit) – протокол управления мостами, IEEE 802.1d, базируется на реализации протокола STP (Spanning Tree Protocol). Используется для исключения возможности возникновения петель в сетях передачи данных при наличии в них многосвязной топологии.

BRI – (англ. Basic Rate Interface) – обеспечивает пользователю предоставление двух цифровых каналов (ОЦК) по 64 кбит/с (канал В) и однополосный канал сигнализации D со скоростью передачи данных 16 кбит/с.

CDMA – (англ. Code Division Multiple Access) – множественный доступ с кодовым разделением.

CRC – (англ. cyclic redundancy check – проверка избыточности циклической суммы) – способ цифровой идентификации некоторой последовательности данных, который заключается в вычислении контрольного значения её циклического избыточного кода.

CSMA/CD – (англ. Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection – множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий) – технология множественного доступа к общей передающей среде в локальной компьютерной сети с контролем коллизий. CSMA/CD относится к децентрализованным случайным (точнее, квазислучайным)

методам. Он используется как в обычных сетях типа Ethernet, так и в высокоскоростных сетях (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet).

DCE – (англ. Data Communication Equipment) – оборудование, преобразующее данные, сформированные оконечным оборудованием в сигнал для передачи по линии связи и осуществляющее обратное преобразование.

DTE – (англ. Data Terminal Equipment) – оборудование, преобразующее пользовательскую информацию в данные для передачи по линии связи, и осуществляющее обратное преобразование. Примером терминального оборудования может служить обычный телефонный модем.

Ethernet – пакетная технология компьютерных сетей, преимущественно локальных.

FDDI – (англ. Fiber Distributed Data Interface – распределённый волоконный интерфейс данных) – стандарт передачи данных в локальной сети, протянутой на расстоянии до 200 километров. Стандарт основан на протоколе Token Ring.

Frame Relay – (англ. <ретрансляция кадров>, FR) – протокол канального уровня сетевой модели OSI. Служба коммутации пакетов Frame Relay в настоящее время широко распространена во всём мире.

FTP – (англ. File Transfer Protocol – протокол передачи файлов) – протокол, предназначенный для передачи файлов в компьютерных сетях. FTP позволяет подключаться к серверам FTP, просматривать содержимое каталогов и загружать файлы с сервера или на сервер; кроме того, возможен режим передачи файлов между серверами.

G.703 – стандарт описывающий электрические характеристики стыков цифровых интерфейсов передачи голоса или данных через цифровые каналы типа T1 и E1. G.703 использует РСМ модуляцию. Является подмножеством G.711.

GSM – (англ. Groupe Special Mobile) – глобальный цифровой стандарт для мобильной сотовой связи, с разделением канала по принципу TDMA и высокой степенью безопасности благодаря шифрованию с открытым ключом.

HDLC – (англ. High-Level Data Link Control) – бит-ориентированный кодопрозрачный сетевой протокол управления каналом передачи данных канального уровня сетевой модели OSI, разработанный ISO.

HDSL – (англ. High Data Rate Digital Subscriber Line) – высокоскоростная цифровая абонентская линия. Это первая технология высокоскоростной передачи данных по скрученным медным парам телефонных кабелей, использующая высокие частоты.

ICMP – (англ. Internet Control Message Protocol – межсетевой протокол управляющих сообщений) – сетевой протокол, входящий в стек протоколов TCP/IP. В основном ICMP используется для передачи сообщений об ошибках и других исключительных ситуациях, возникших при передаче данных.

IP – (англ. Internet Protocol – межсетевой протокол) – маршрутизируемый сетевой протокол, основа стека протоколов TCP/IP.

ISDN – (англ. Integrated Services Digital Network) – цифровая сеть с интеграцией служб. Позволяет совместить услуги телефонной связи и обмена данными.

NTP – (англ. Network Time Protocol) – сетевой протокол для синхронизации внутренних часов компьютера с использованием сетей с переменной латентностью.

SNMP – (англ. Simple Network Management Protocol – простой протокол управления сетью) – протокол управления сетями связи на основе архитектуры TCP/IP.

SNTP – (англ. Simple Network Time Protocol) – протокол синхронизации времени по компьютерной сети. Является упрощённой реализацией протокола NTP. Используется во встраиваемых системах и устройствах, не требующих высокой точности, а также в пользовательских программах точного времени.

STP – (англ. Spanning Tree Protocol) – сетевой протокол, работающий на втором уровне модели OSI. Основной задачей STP является приведение сети Ethernet с множественными связями к древовидной топологии, исключающей циклы пакетов.

TCP/IP – (англ. Transmission Control Protocol/Internet Protocol) – собирательное название для сетевых протоколов разных уровней, используемых в сетях.

Token Ring – (англ. <маркерное кольцо>) архитектура кольцевой сети с маркерным (эстафетным) доступом.

UTP – (англ. unshielded twisted pair – неэкранированная витая пара) – вид кабеля связи, представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины), покрытых пластиковой оболочкой.

VDSL – (англ. Very-high data rate Digital Subscriber Line – сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия) – аналог технологии ADSL, отличается тем, что может работать как в асимметричном, так и в симметричном режиме.

VLAN – (англ. Virtual Local Area Network) – виртуальная локальная вычислительная сеть. VLAN могут являться частью большего LAN, имея определенные правила взаимодействия с другими VLAN, либо быть полностью изолированными от них.

X.25 – семейство протоколов канального уровня сетевой модели OSI. Предназначалось для организации WAN на основе телефонных сетей с линиями с достаточно высокой частотой ошибок, поэтому содержит развитые механизмы коррекции ошибок. Ориентирован на работу с установлением соединений.

Демультимплексор – устройство, в котором сигналы с одного информационного входа поступают в желаемой последовательности по нескольким выходам в зависимости от кода на адресных шинах. Таким образом, демультимплексор в функциональном отношении противоположен мультиплексору.

Домен коллизий – (collision domain) – это часть сети Ethernet, все узлы которой распознают коллизию независимо от того, в какой части этой сети коллизия возникла.

Коммутатор – устройство, предназначенное для соединения нескольких узлов компьютерной сети в пределах одного сегмента. Коммутатор передает данные только непосредственно получателю. Это повышает производительность и безопасность сети, избавляя остальные сегменты сети от необходимости (и возможности) обрабатывать данные, которые им не предназначались.

Маршрутизатор – сетевое устройство, на основании информации о топологии сети и определённых правил принимающее решения о пересылке пакетов сетевого уровня между различными сегментами сети.

Мост – сетевое оборудование для объединения сегментов локальной сети.

Мультиплексор – устройство или программа, позволяющие передавать по одной коммуникационной линии одновременно несколько различных потоков данных.

Пакет – форматированный блок информации, передаваемый по вычислительной сети.

Пейджинг – система односторонней связи, при которой передаваемое сообщение поступает на пейджер пользователя, извещая его о необходимости предпринять то или действие или просто информируя его о тех или иных текущих событиях. Это наиболее дешёвый вид мобильной связи.

Прерывание – сигнал, сообщающий процессору о совершении какого-либо асинхронного события. При этом выполнение текущей последова-

тельности команд приостанавливается, и управление передаётся обработчику прерывания, который выполняет работу по обработке события и возвращает управление в прерванный код.

Протокол – стандарт, определяющий поведение функциональных блоков при передаче данных.

Сервер – узел сети, принимающий и обрабатывающий запросы пользователей.

Скрипт – программа, которая автоматизирует некоторую задачу, которую без сценария пользователь делал бы вручную, используя интерфейс программы.

СКС – (структурированная кабельная система) – представляет собой иерархическую кабельную среду передачи электрических или оптических сигналов в здании, разделённую на структурные подсистемы и состоящую из элементов – кабелей и разъёмов. По сути СКС состоит из набора медных и оптических кабелей, коммутационных панелей, соединительных шнуров, кабельных разъёмов, модульных гнезд информационных розеток и вспомогательного оборудования.

Твейджинг – это двухсторонний пейджинг. В отличие от пейджинга возможно подтверждение получения сообщения и даже проведение некоторого подобия диалога.

Транзакция – (англ. transaction) – в информатике, группа последовательных операций, которая представляет собой логическую единицу работы с данными. Транзакция может быть выполнена целиком либо успешно, соблюдая целостность данных и независимо от параллельно идущих других транзакций, либо не выполнена вообще и тогда она не должна произвести никакого эффекта.

Трафик – объём информации или поток информации, передаваемой по сети.

Шина – топология компьютерной сети. Представляет собой общий кабель (называемый шина или магистраль), к которому подсоединены все рабочие станции. На концах кабеля находятся терминаторы, для предотвращения отражения сигнала.

Шлюз – сетевое устройство, которое передаёт протоколы одного типа физической среды в протоколы другой физической среды (сети).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майкл Дж. Мартин, Введение в сетевые технологии, Москва, «Лори», 2002.
2. Таненбаум Э. Компьютерные сети, 4-е издание, Москва, «Питер», 2003.
3. Семенов Ю.А. Алгоритмы телекоммуникационных сетей. Бином. Интернет университет Информационных технологий, Москва, 2007.
4. Додд Аннабел З. Мир телекоммуникаций. Обзор технологий и отрасли / пер.с англ. – М., 2002.
5. Галкин В.А., Григорьев Ю.А. Телекоммуникации и сети. – М., 2003.
6. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2001. – 672 с: ил.
7. <http://book.itep.ru/1/intro1.htm>
8. <http://www.xserver.ru/computer/nets/razn/3/index.shtml>
9. <http://edu.pgtu.ru/elib/base/olifer>
10. <http://www.xserver.ru/computer/nets/razn/9/>
11. <http://pnm.narod.ru/nets/net/net0.html>
12. <http://edu.pgtu.ru/elib/base/>
13. <http://athena.vvsu.ru/net/book/>
14. http://www.ecolan.ru/imp_info/standarts/review/ – Экспертный анализ базовых стандартов СКС.
15. <http://www.xnets.ru/plugins/content/content.php?content.96.1> – Проектирование и расчет структурированных кабельных систем и их компонентов.
16. <http://project.net.ru/others/article7/index.html> – Телекоммуникационные технологии и сети

Учебное издание

ТОМАШЕВСКИЙ Алексей Сергеевич

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Учебное пособие

Ассистент каф. ОСУ А.С. Томашевский

Подписано к печати 27.07.2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 5,89.

Заказ ___-11. Тираж 35 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru