

ОП

АКАДЕМИЯ

СОВРЕМЕННЫХ

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ

ТЕХНОЛОГИЙ

- ОП** Основы построения современных
Инфокоммуникационных Систем
ОП.1. Основы сетевых технологий. Вводный курс.
(количество частей – 1, число страниц - 20)

ОП.1

Исторические предпосылки развития высокоскоростных сетей передачи данных

Анализируя исторический опыт создания и развития сетевых технологий высокоскоростной передачи информации, следует отметить, что главным фактором, который обусловил появление этих технологий, является создание и развитие средств вычислительной техники.

Появление интегральных микросхем с низкой стоимостью привело к тому, что компьютеры стали меньше по размерам, доступнее по цене, мощнее и специализированнее. Компании уже могли позволить себе иметь несколько компьютеров, предназначенных для различных подразделений и задач и выпущенных различными производителями. В связи с этим появилась новая задача: соединение групп компьютеров между собой (Interconnection).

Постепенно появляется все больше производителей оборудования и соответственно математического обеспечения (МО), сети, включающие оборудование и МО различных производителей, называют *гетерогенными сетями* (разнородными). Необходимость "понимать" друг друга приводит к необходимости создания не корпоративных правил передачи данных (например, SNA), а общих для всех. Появляются организации, создающие стандарты передачи данных, определяются правила, по которым могут работать частные клиенты, телекоммуникационные компании, правила объединения гетерогенных сетей.

С удешевлением технологий организации и компании получили возможности объединять свои компьютерные островки, находящиеся на различном удалении (в разных городах и даже континентах), в свою частную - *корпоративную сеть*. Корпоративная сеть может строиться на основе международных стандартов (ITU-T) или стандартов одного производителя (IBM SNA).

При дальнейшем развитии высокоскоростной передачи данных стало возможным объединять в одну сеть различные организации и подключать к ней не только членов какой-то одной компании, а любое лицо, выполняющее определенные правила доступа. Такие сети называются *глобальными*. Заметим, что корпоративная сеть - это сеть, которая не является открытой для любого пользователя, глобальная сеть, напротив, открыта для любого пользователя.

Эталонная модель взаимодействия открытых систем ЭМВОС (Open System Interconnection - модель OSI)

В 1977 году Международная организация по стандартизации (МОС, ISO), состоящая из представителей индустрии информационных и телекоммуникационных технологий, создала комитет по разработке коммуникационных стандартов в целях обеспечения универсального взаимодействия программных и аппаратных средств множества производителей. Результатом его работы стала эталонная модель взаимодействия открытых систем ЭМВОС. Модель определяет уровни взаимодействия в компьютерных сетях, описывает функции, которые выполняются каждым уровнем, но не описывает стандарты на выполнение этих задач.

Таблица 1. Уровни взаимодействия в сети в соответствии с ЭМВОС (OSI)

7	Прикладной (или уровень приложения, Application)
6	Представительный (или уровень представления, Presentation)
5	Сеансовый (или уровень сессии, Session)
4	Транспортный (Transport)
3	Сетевой (Network)
2	Канальный (или уровень звена данных, Data Link)
1	Физический (Physical)

Поскольку различные компьютеры имеют различные скорости передачи данных, различные форматы данных, различные типы разъемов, разные способы хранения и доступа к данным (методы доступа), разные операционные системы и организацию видов памяти, то возникает масса не очевидных проблем их соединения. Все эти проблемы классифицировали и распределили по функциональным группам - уровням ЭМВОС.

Каждый уровень выполняет некоторую группу близких функций, требуемых для организации связи компьютеров. В реализации более примитивных функций он полагается на нижележащий уровень (пользуется его услугами) и не интересуется подробностями этой реализации. Кроме того, каждый уровень предлагает услуги вышестоящему уровню. Кратко рассмотрим функции, отнесенные к разным уровням ЭМВОС.

Физический уровень

Обеспечивает передачу потока бит в физическую среду передачи информации. В основном определяет спецификацию на кабель и разъемы, т.е. механические, электрические и функциональные характеристики сетевой среды и интерфейсов.

На этом уровне определяются:

- физическая среда передачи - тип кабеля для соединения устройств;
- механические параметры - количество пинов (тип разъема);
- электрические параметры (напряжение, длительность единичного импульса сигнала);
- функциональные параметры (для чего используется каждый пин сетевого разъема, как устанавливается начальное физическое соединение и как оно разрывается).

Примерами реализации протоколов физического уровня являются RS-232, RS-449, RS-530 и множество спецификаций МСЭ-Т серии V и X (например, V.35, V.24, X.21).

Канальный уровень

На этом уровне биты организуются в группы (фреймы, кадры). Кадр - это блок информации, имеющий логический смысл для передачи от одного компьютера другому. Каждый кадр снабжается адресами физических устройств (источника и получателя), между которыми он пересылается.

Если в сети используется разделяемая среда передачи, протокол канального уровня выполняет проверку доступности среды передачи, то есть реализует определенный метод доступа в канал передачи данных.

В заголовке канального уровня содержится информация об адресах взаимодействующих устройств, типе кадра, длине кадра, информация для управления потоком данных и сведения о протоколах вышестоящего уровня, принимающих пакет, размещенный в кадре.

Сетевой уровень

Основной задачей этого уровня является передача информации по сложной сети, состоящей из множества островков (сегментов). Внутри сегментов могут использоваться совершенно разные принципы передачи сообщений между конечными узлами-компьютерами. Сеть, состоящую из многих сегментов, мы называем Интернет.

Начиная с сетевого уровня, все вышележащие протоколы реализуются программными средствами, обычно включаемыми в состав сетевой операционной системы.

Передача данных (пакетов) между сегментами выполняется при помощи маршрутизаторов (router, роутер). Можно представить себе маршрутизатор как устройство, в котором функционируют два процесса. Один из них обрабатывает входящие пакеты и выбирает для них по таблице маршрутизации исходящую линию. Второй процесс отвечает за заполнение и обновление таблиц маршрутизации и определяется алгоритмом выбора маршрута.

Примерами протоколов сетевого уровня являются протокол межсетевого взаимодействия IP стека TCP/IP и протокол межсетевого обмена пакетами IPX стека компании Novell IPX/SPX.

Транспортный уровень

Транспортный уровень предназначен для организации необходимой степени надежности передачи данных вне зависимости от физических характеристик используемой сети или сетей.

Существует несколько классов . сервиса транспортного уровня. Наиболее популярный тип сервиса - это защищенный от ошибок канал между конечными узлами (отправителем и получателем), поставляющий получателю сообщения или байты в том порядке, как они были отправлены. Может предоставляться другой тип сервиса, например, пересылка отдельных сообщений без гарантии соблюдения порядка их доставки. Примерами протоколов этого уровня являются протоколы TCP, SPX, UDP.

Сеансовый уровень (уровень сессии)

Уровень позволяет пользователям различных компьютеров устанавливать сеансы связи друг с другом. При этом обеспечивается открытие сеанса, управление диалогом устройств (например, выделение места для файла на диске принимающего устройства) и завершение взаимодействия. Это делается с помощью специальных программных библиотек (например, RPC-remote procedure calls от Sun Microsystems). На практике немногие приложения используют сеансовый уровень.

Уровень представления

Уровень выполняет преобразование данных между компьютерами с различными форматами кодов символов, например ASCII и EBCDIC, то есть преодолевает синтаксические различия в представлении данных. На этом уровне может выполняться шифрование и дешифрирование и сжатие данных, благодаря чему секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех прикладных служб.

Прикладной уровень (уровень приложения)

Прикладной уровень - это набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как файлы, электронная почта, гипертекстовые WEB-страницы, принтеры.

На этом уровне происходит взаимодействие не между компьютерами, а между приложениями: определяется модель, по которой будет происходить обмен файлами, устанавливаются правила, по которым мы будем пересылать почту, организовывать виртуальный терминал, сетевое управление, директории.

Примерами протоколов этого уровня являются: Telnet, X.400, FTP, HTTP.

Международные стандартизирующие организации

В общем случае *протоколом* называют способы и правила, при помощи которых осуществляется обмен данными между компьютерами. При этом некоторые реально используемые протоколы с точки зрения ЭМВОС осуществляют функции одного уровня, а другие протоколы - нескольких. И наоборот, протокол может осуществлять функции какого-либо уровня частично.

Стандарт - это вариант реализации протокола в аппаратуре или программном обеспечении.

Стандарты бывают:

- **Юридические.** Они подтверждаются законами, которые приняты государством (например, ФСБ требует соблюдения определенных стандартов безопасности для применяемой этой организацией аппаратуры);
- **Фактические.** Эти стандарты существуют, но их использование не определено законами. Например, стек TCP/IP (наиболее популярный стек протоколов, используемый как в глобальных, так и локальных сетях) и связанные с ним протоколы являются промышленным фактическим стандартом на соединение сегментов сетей передачи данных;
- **Корпоративные.** Это те стандарты, которые разрабатывают и внедряют частные коммерческие компании для своих продуктов (например, оригинальный стек протоколов IPX/SPX фирмы Novell, который она разработала для своей операционной системы Net Ware в начале 80-х годов).

Перечислим основные международные стандартизирующие организации в области передачи данных:

ITU (International Telecommunications Union) - Международный союз электросвязи (МСЭ); является структурным подразделением ООН, образован в 1865 году как Международный телеграфный союз (<http://www.itu.int/ru/>);

ISO – The International Organization for standardization (также International Standards Organization) - Международная организация по стандартизации (МОС). Добровольная некоммерческая организация со штаб-квартирой в Женеве (<http://www.iso.org>);

IEEE - (произносится "ай-трипл-и") - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. - Институт инженеров электротехники и электроники (США) (<http://www.ieee.org>);

EIA - Electronics Industries Alliance - Альянс отраслей электронной промышленности США, альянс EIA;

TIA – Telecommunication Industry Association - Ассоциация телекоммуникационной промышленности США;

ETSI – European Telecommunications Standards Institute - Европейский институт стандартов для электросвязи - создан в 1988 году, является независимой организацией, разрабатывающей общеевропейские стандарты (<http://www.etsi.org>);

IAB - Internet Architecture Board - Координационный Совет по архитектуре сети Интернет.

В Российской Федерации действует ряд законов РФ, основным из которых является Федеральный закон (ФЗ) «О связи». Также отметим следующие документы: ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите данных», документы Росстандарта, документы Росстроя России (например, строительные нормы и правила (СНиП), ПУЭ - правила устройства электроустановок и т.д.), ведомственные нормы технологического проектирования и правила (ВНТП), нормативные и руководящие документы (РД) Минкомсвязи России, Федерального агентства связи (www.rossvyaz.ru), Роскомнадзора, Федеральной тарифной службы и ряда других. Например, РД.45.128-2000, Сети и службы передачи данных.

Физическое и логическое кодирование данных

Каждый вид компьютеров имеет свой внутренний вид кодирования для *представления данных* - символьной и текстовой информации. Наиболее часто используются коды ASCII (American Standard Code for Information Interchange, американский стандартный код для обмена информацией) и EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code, расширенный двоично-десятичный код обмена информацией).

Большинство компьютеров для представления «0» и «1» оперируют стандартными уровнями сигналов (логическими уровнями), которые определяются видом микросхем. TTL логика представляет 0,5В как «0», и 5В как «1». ECL и CMOS-логики представляют 1,75В как «0», и -0,9В как «1». Для передачи данных, например, в оптоволоконных системах, в трансивере (приемопередатчике) устанавливается специальный чип, обрабатывающий любую логику и выдающий управляющий сигнал источнику света с конвертацией 0,5В и 5В TTL в 0 мА и 50 мА соответственно (включи свет, выключи свет).

Для передачи данных по каналам связи необходимо использовать специальное кодирование для преодоления проблем среды передачи.

При цифровой передаче используют *потенциальные* и *импульсные* коды. В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только *значение* сигнала в течение битового интервала, а фронты сигнала, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются. Импульсные коды представляют логический ноль и логическую единицу перепадом потенциала определенного направления. В значение импульсного кода включается весь импульс вместе с его фронтами. Рассмотрим методы физического цифрового кодирования сигналов.

Потенциальный код с инверсией при единице NRZI (Non Return to Zero with ones Inverted. NRZI)

При этом методе кодирования передаче нуля соответствует уровень сигнала, который был установлен в предыдущем битовом интервале (уровень сигнала не меняется), а при передаче единицы - уровень изменяется на противоположный.

Код используется при передаче по оптоволоконным кабелям, где приемник устойчиво распознает два состояния сигнала - свет и темнота.

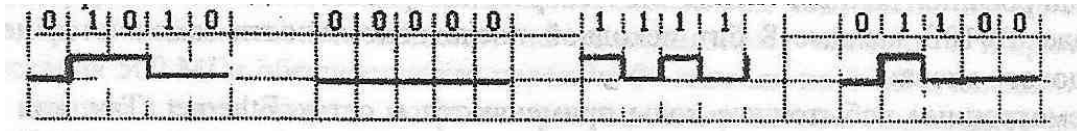


Рис.1. Кодирование по методу NRZI

Манчестерский код (Manchester)

Манчестерский код относится к самосинхронизирующимся кодам и имеет два уровня, что обеспечивает хорошую помехозащищенность. Каждый битовый интервал делится на две части. Информация кодируется перепадом уровня, происходящим в середине каждого интервала.

Единица кодируется перепадом от высокого уровня сигнала к низкому, а ноль - обратным перепадом. В начале каждого битового интервала может происходить служебный перепад сигнала (при передаче несколько единиц или нулей подряд).

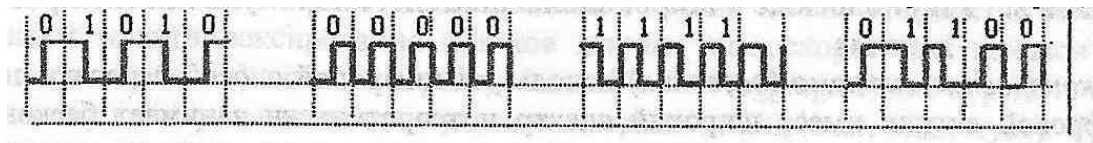


Рис.2. Манчестерское кодирование Манчестерский код используется в сетях Ethernet со скоростью передачи 10 Мбит/с (спецификация 10Base-T).

Код MLT3 (Multi Level Transmission - 3).

Используются три уровня линейного сигнала: «-1», «0», «+1». Логической единице соответствует обязательный переход с одного уровня сигнала на другой. При передаче логического нуля изменение уровня линейного сигнала не происходит.

При передаче последовательности единиц период изменения уровня сигнала включает четыре бита. В этом случае $f_0=N/4$ Гц. Это максимальная основная частота сигнала в коде MLT-3. В случае чередующейся последовательности нулей и единиц основная гармоника сигнала находится на частоте $f_0=N/8$ Гц, что в два раза меньше чем у кода NRZI.

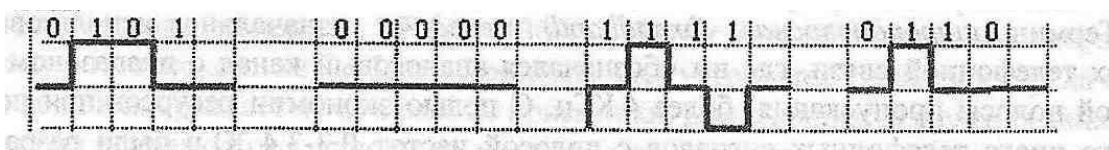


Рис.3. Сигнал в коде MLT-3

Логическое кодирование выполняется передатчиком после физического

кодирования, рассмотренного выше, средствами физического уровня.

Логическое кодирование подразумевает замену бит исходной информационной последовательности новой последовательностью бит, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами.

Логический код 4В/5В заменяет исходные группы длиной 4 бита словами длиной 5 бит. В результате, общее количество возможных битовых комбинаций $2^5=32$ больше, чем для исходных групп $2^4=16$. В кодовую таблицу включают 16 кодовых слов, которые не содержат более двух нулей подряд, и используют их для передачи данных. Код гарантирует, что при любом сочетании кодовых слов на линии не могут встретиться более трех нулей подряд.

Остальные комбинации кода используются для передачи служебных сигналов (синхронизация передачи, начало блока данных, конец блока данных, управление передачей). Неиспользуемые кодовые слова могут быть задействованы приемником для обнаружения ошибок в потоке данных. Цена за полученные достоинства при таком способе кодирования данных - снижение скорости передачи полезной информации на 25%. В коде 8В/10В каждые 8 бит исходной последовательности заменяются десятью битами кодового слова.

Рассмотренные избыточные коды применяются в сетях Ethernet. Так, код 4В/5В используется в стандартах 100Base-TX/FX, а код 8В/6Т - в стандарте 100Base-T4, который в настоящее время практически уже не используется. Код 8В/10В используется в стандарте 1000Base-X (когда в качестве среды передачи данных используется оптоволокно).

Для обеспечения заданной пропускной способности линии передатчик, использующий избыточный код, должен работать с повышенной скоростью (тактовой частотой) Так для обеспечения скорости передачи информации 100 Мбит/с с использованием кодирования NRZI+4В/5В передатчик должен работать на скорости 125 Мбод.

Узкополосные и широкополосные системы. Мультиплексирование данных

Узкополосная система (baseband) использует цифровой способ передачи сигнала. Хотя цифровой сигнал имеет широкий спектр и теоретически занимает бесконечную полосу частот, на практике ширина спектра передаваемого сигнала определяется частотами его основных гармоник. Именно они дают основной энергетический вклад в формирование сигнала. В узкополосной системе передача ведется *в исходной полосе* частот не происходит переноса спектра сигнала в другие частотные области. Именно в этом смысле система называется узкополосной. Сигнал занимает практически всю полосу пропускания линии. Для регенерации сигнала и его усиления в сетях передачи данных используют специальные устройства - повторители (repeater, репитор).

Примером реализации узкополосной передачи являются локальные сети и соответствующие спецификации IEEE (например, 802.3 или 802.5).

Ранее узкополосная передача из-за затухания сигналов использовалась на расстояниях порядка 1-2 км по коаксиальным кабелям, но в современных системах* благодаря различным видам кодирования и мультиплексирования сигналов и видам кабельных систем, ограничения отодвинуты до 40 и более километров.

Термин *широкополосная (broadband) передача* изначально использовался в системах телефонной связи, где им обозначался аналоговый канал с диапазоном частот (шириной полосы пропускания) более 4 КГц. С целью экономии ресурсов при передаче

большого числа телефонных сигналов с полосой частот 0,3-3,4 КГц были разработаны различные схемы уплотнения (мультиплексирования) этих сигналов, обеспечивающие их передачу по одному кабелю.

В высокоскоростных сетевых приложениях широкополосная передача означает, что для передачи данных используется не импульсная, а аналоговая несущая. По аналогии термин «широкополосный Интернет» означает, что вы используете канал с пропускной способностью более 128 Кбит/с (в Европе) или 200 Кбит/с (в США). Широкополосная система обладает высокой пропускной способностью, обеспечивает высокоскоростную передачу данных и мультимедийной информации (голос, видео данные). Примером являются сети ATM, B-ISDN, Frame Relay, сети кабельного вещания CATV.

Термин «мультиплексирование» используется в компьютерной технике во множестве аспектов. Мы под этим будем понимать объединение нескольких коммуникационных каналов в одном канале передачи данных.

Перечислим основные техники мультиплексирования: частотное уплотнение – Frequency Division Multiplexing (FDM), временное уплотнение - Time Division Multiplexing (TDM) и спектральное или уплотнение по длине волны (волновое) - Wavelength Division Multiplexing (WDM).

FDM

При частотном мультиплексировании каждому каналу выделяется своя аналоговая несущая. При этом в FDM может применяться любой вид модуляции или их комбинация. Например, в кабельном телевидении по коаксиальному кабелю с шириной полосы пропускания 500 МГц обеспечивается передача 80 каналов по 6 МГц каждый. Каждый из таких каналов в свою очередь получен мультиплексированием подканалов для передачи звука и видеоизображения.

TDM

При этом виде мультиплексирования низкоскоростные каналы объединяются (сливаются) в один высокоскоростной, по которому передается смешанный поток данных образованный в результате агрегирования исходных потоков. Каждому низкоскоростному каналу присваивается свой временной слот (отрезок времени) внутри цикла определенной длительности. Данные представляются, как биты, байты или блоки бит или байт. Например, каналу А отводятся первые 10 бит внутри временного отрезка заданной длительности, каналу В - следующие 10 бит и т.д. Кроме бит данных фрейм включает служебные биты для синхронизации передачи и других целей. Устройства сети, которые выполняют мультиплексирование потоков данных низкоскоростных каналов (tributary компонентные потоки) в общий агрегированный поток (aggregate) для передачи по одному физическому каналу, называются мультиплексорами (multiplexer, mux, мукс). Устройства, выполняющие разделение агрегированного потока на компонентные потоки, называются демультиплексорами.

Синхронные мультиплексоры используют фиксированное разделение на временные слоты. Данные, принадлежащие определенному компонентному потоку, имеют одну и ту же длину и передаются в одном и том же временном слоте в каждом фрейме мультиплексированного канала. Если от некоторого устройства информация не передается, то его тайм слот остается пустым. *Статистические мультиплексоры* (stat muxes) решают эту проблему, динамически присваивая свободный временной слот активному устройству.

WDM

WDM использует различные длины волн светового сигнала для организации каждого канала. Фактически это особый вид частотного уплотнения на очень высоких частотах. При этом виде мультиплексирования передающие устройства работают на разных длинах волн (например, 820нм и 1300нм). Затем лучи объединяются и передаются по одному оптоволоконному кабелю. Принимающее устройство разделяет передачу по длинам волн и направляет лучи в разные приемники. Для слияния/разделения каналов по длинам волн используются специальные устройства - каплеры (coupler).

Основными факторами, определяющими возможности различных реализаций, являются мешающие наводки и разделение каналов. Величина наводки определяет, насколько хорошо разделены каналы, и, например, показывает, какая часть мощности 820-нм луча оказалась на 1300-нм порту. Наводка в 20 ДБ означает, что 1% сигнала появился на непредназначенном порту. Чтобы обеспечить надежное разделение сигналов длины волн должны быть разнесены "широко". Трудно распознать близкие длины волн например 1290 и 1310 нм.

Режимы передачи данных. Среды передачи

Линия связи между удаленными компьютерами состоит из физической среды по которой передаются сигналы, аппаратуры передачи данных АПД (или аппаратуры окончания канала данных АКД) и промежуточного оборудования коммуникационной сети. Промежуточное оборудование может включать мультиплексоры, демупльтиплексоры, коммутаторы, маршрутизаторы, повторители и пр.

В общем случае в комплексе аппаратно-программных средств, подключаемых к среде передачи, можно выделить:

- DTE (data terminal equipment) - оконечное оборудование для ввода, вывода, обработки и хранения данных. Чаще всего это компьютер, где работает приложение;

- DCE (data circuit-terminating equipment) – аппаратура передачи данных (модем сетевой адаптер) устройство физического и канального уровня, соединяющее DTE с линией связи. Фактически DCE служит интерфейсом между компьютером и средой передачи (например, между компьютером и оптоволоконным кабелем, или между компьютером и телефонной линией). На DCE возлагаются функции преобразования сигнала от DTE в вид, подходящий для передачи по линии связи - формат среды передачи. Именно среда передачи определяет способы и возможности передачи данных. Существуют специальные протоколы взаимодействия DTE и DCE. Примером DTE-to-DCE интерфейса является последовательный интерфейс RS-232.

Модем - это специальный тип DCE-устройства, применяемый для передачи данных от DTE в аналоговую среду передачи (например, от компьютера в телефонную линию или микроволновому передатчику). Модем модулирует сигнал аналоговой несущей последовательностью данных на передаче и выполняет обратное преобразование на приеме. Применяются модемы при необходимости передачи на достаточно большие расстояния. Другим случаем применения модемов может служить необходимость иметь несколько каналов передачи в одной среде (например, по одному кабелю).

Для соединения двух компьютеров на небольшом расстоянии можно

использовать их соединение нуль-модемным кабелем (null modem). Он осуществит электрическое и механическое соединение передающего порта одного компьютера и принимающего порта одного компьютера и принимающего порта другого. При этом нет необходимости преобразования цифрового сигнала в аналоговый.

При взаимодействии компьютеров возможны симплексная, дуплексная, асинхронная и синхронная передача.

С точки зрения организации синхронизации передачи данных различают, асинхронную и синхронную передачу. При асинхронной (*стартстопной*) передаче комбинация бит *каждого символа* алфавита предваряется стартовым битом, заканчивается стоповым битом (или двумя стоповыми битами). Стартовый и стоповый биты синхронизируют передачу байта. Контроль ошибок осуществляется добавляемым битом контроля четности (или нечетности) числа единиц в байте.

В современных высокоскоростных сетях применяется *синхронная передача*, при которой синхронизируются блоки передаваемых данных. Перед блоком должен передаваться специальный сигнал, который обеспечит вхождение принимающего устройства в синхронный режим. Передаваемый блок данных (пакет или кадр) имеет установленный формат. Контроль ошибок осуществляется за счет добавления к блоку данных контрольной последовательности, получаемой в результате кодирования пакета помехоустойчивым циклическим кодом (CRC). Действия по контролю ошибок в принятом блоке данных выполняет протокол канального уровня.

Далее кратко рассмотрим *среды передачи*, используемые в сетях передачи данных.

Различают среды *ограниченные* и *неограниченные*.

Ограниченные среды представляют собой кабели (витая пара, коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель), которые передают электрические и световые сигналы. Возможности передачи данных ограничены возможностями кабеля. Неограниченные среды (wireless media) обеспечивают микроволновую, лазерную, инфракрасную и радиопередачи.

Ограниченные среды. Витая пара.

Витую пару образует пара изолированных перевитых медных проводов (жил). Эти жилы объединяются в одном кабеле изолирующей оплеткой. Для подключения сетевых устройств посредством витой пары используются разъемы RJ-11 (4 пина), RJ-45 (8 пинов – 4 пары) и мультипиновые разъемы RS-232, RS-449. Витая пара бывает экранированной (Shielded Twisted Pair - STP. Foil Twisted Pair - FTP) и неэкранированной (Unshielded Twisted Pair - UTP).

Преимущественно в сетях передачи данных используется *неэкранированной* витая пара. В 1991 году EIA/TIA опубликовала документ - бюллетень TSB-36, где описала категории UTP в соответствии с частотными характеристиками полосы пропускания и параметры измерения этих кабелей. Применяемые в высокоскоростной передаче данных кабели UTP, согласно стандартам EIA/TIA 568, имеют 8 жил (4 пары) и определенные характеристики. Сертификацию кабельных систем производителей на соответствие этим характеристикам проводит с 1991 г. специальная лаборатория - Underwriter's Laboratories.

Кабели имеют одинаковую конструкцию и отличаются плотностью и качеством навивки. Измерения кабеля проводят по 70 параметрам, на определенных частотах и при определенной температуре. Укажем основные измеряемые характеристики неэкранированной витой пары: - Attenuation (затухание); - NEXT- near end crosstalk

(перекрестное влияние на ближний конец); - Impedance (полное сопротивление); 100 Ом для всех категорий +/- 15% на всех частотах.

Достоинствами UTP являются дешевизна, совместимость с существующими телефонными кабельными системами, наличие множества стандартов, относительная простота инсталляции и Относительно низкая стоимость диагностического оборудования.

Недостатком UTP является подверженность электромагнитным влияниям, что приводит к необходимости применения множества средств кодирования и скремблирования для обеспечения высокоскоростной передачи.

Ограниченные среды. Коаксиальный кабель

Коаксиальный кабель состоит из двух проводников, находящихся на одной оси («со», «axis» - ось) и разделенных изолирующей оплеткой. В современных высокоскоростных системах коаксиальные кабели не используются, т.к. являются более дорогими и более тяжелыми, чем UTP, а с другой стороны, приближаются по стоимости к оптоволокну.

Ограниченные среды. Оптоволоконный кабель (Fiber)

Эти кабели представляют собой тонкие светопроводящие стеклянные или пластиковые сердечники (core) в стеклянной же светотражающей оболочке (cladding), заключенной в защитную оплетку (jacket). Имеется множество конструкций оптоволоконного кабеля в зависимости от вида прокладки и требований по скорости передачи.

Существует два вида оптического волокна в зависимости от диаметра стеклянного сердечника и стеклянной отражающей оболочки: многомодовое волокно - мультимод (62,5/125 мкм и 50/125 мкм) и одномодовое волокно - синглмод (9-10/125 мкм).

На небольших расстояниях и относительно низких скоростях передачи применяются многомодовые кабели, на больших расстояниях и высоких скоростях - одномодовые. Световой пучок передается по разным видам оптоволокон на разных длинах волн: мультимод - 850 нм и 1300 нм с затуханием 1,5-5Дб/км; синглмод - 1300 нм и 1550 нм с затуханием 1Дб/км.

Достоинствами современных оптоволоконных кабелей являются: низкая стоимость (стеклянные компоненты значительно дешевле медных), лёгкость кабеля, очень высокая скорость передачи по сравнению с медными кабелями, нечувствительность к интерференциям и высокая защищенность от несанкционированного доступа.

Недостатками являются пока еще высокая стоимость соответствующего сетевого и диагностического оборудования, квалификационные требования к устанавливающему персоналу.

Для присоединения оптоволоконных кабелей используются коннекторы. В настоящее время широко применяют *ST-коннектор* и *SC-коннектор*. Разъем *ST* используется для соединения всех видов многомодового и одномодового оптоволокон при подключении старого сетевого оборудования. *SC* имеет механическую развязку наконечника, фиксирующего элемента и кабеля, применяется в современном сетевом оборудовании.

Неограниченные среды. Микроволновая передача данных

К неограниченным средам относятся микроволновая, лазерная, инфракрасная, радио передачи, беспроводные сети. В этом пособии эти вопросы не рассматриваются.

Структурированные кабельные системы

Подсистемы кабельной системы здания и кампуса

Структурированная кабельная система (СКС) состоит из совокупности подсистем, каждая из которых представляет набор кабелей, разъемов, соединителей и других продуктов, необходимых для экономичного решения проблемы передачи данных на данной территории. Согласно стандарту построения кабельных систем ТИА/Е1А 568 СКС имеет следующие характеристики.

1. Топология любых подсистем: звезда.
2. Типы устройств, соединяющих кабельные подсистемы: горизонтальный кювет (НС), промежуточный кювет (IC), главный кювет (МС) и аппаратная (ER) - помещение для активного сетевого оборудования.
3. Между главным и горизонтальным кюветом должно быть не более одного кювета. Между любыми двумя горизонтальными кюветами должно быть не более трех кюветов.
4. Максимальная длина горизонтального сегмента для витой пары не зависит от типа кабеля и составляет 90м.
5. Максимальная длина магистрального сегмента зависит от типа кабеля и приведена в табл.2.

Таблица 2. Максимальная длина магистрального сегмента

Вид кабеля	Максимально допустимые расстояния		
	А (НС-МС)	В (НС-IC)	С (IC-МС)
Витая пара	90 м.	90 м.	90 м.
Многомодовое волокно	2000 м.	500 м.	1500 м.
Одномодовое волокно	3000 м.	500 м.	2500 м.

В стандарте ТИА/Е1А 568А определены следующие подсистемы структурированных кабельных систем:

- Магистральная подсистема здания (building backbone);
- Магистральная подсистема кампуса (campus backbone); кампус - это совокупность зданий, разнесенных на расстояния, не превышающие указанные в табл. 2;
- Горизонтальная подсистема здания (horizontal subsystem);
- Административная подсистема (administrative subsystem);
- Подсистема рабочих мест (workplace subsystem).

Помещения, где находятся кабельные соединительные устройства, называют телекоммуникационными кюветами - ТС, а помещения, где находится сетевое оборудование, называют аппаратными - ER (в небольших системах их объединяют с

телекоммуникационным closetом).

Подсистема рабочего места служит для присоединения терминала, компьютера или телефона к горизонтальной подсистеме. Среда передачи - кабель UTP/STP/Coaxial.

Горизонтальная подсистема - это горизонтальная часть кабельной системы. Она соединяет телекоммуникационную розетку в зоне рабочих мест с горизонтальным (этажным) кроссом (НС) при помощи коммуникационного устройства - патчпанели (patch panel). Среда передачи - STP/UTP/Coaxial/Fiber.

Административная подсистема состоит из совокупности коммутационных кабелей (патчкордов), устройств (патчпанелей), соединительных разъемов и блоков которые подсоединяют горизонтальную подсистему к вертикальной системе здания.

Магистральная подсистема здания (Building Backbone) - вертикальная магистраль здания. Она обеспечивает соединение между узлами административной подсистемы. Среда передачи - UTP/Coaxial/Fiber.

Campus Backbone (Metropolitan Backbone) - кампусная магистраль соединяет различные здания на ограниченной территории. Согласно стандартам протяженность этой магистрали определяется видом оптоволокна и составляет 2500 м. для многомодового волокна и 3000 м. для одномодового. Такая ограниченная территория соответствует территории локальной сети. Среда передачи, обычно - оптоволокно.

Топологии систем передачи данных

Различают два типа топологий системы: физическая и логическая. Физическая топология - это расположение физических устройств и связь между ними. Логическая топология отражает путь передачи данных по сети.

Можно выделить следующие классы сетевых топологий: полносвязная, звезда, кольцо, шина, гибридная. Следует обратить внимание на то, что не существует стандарта на эти понятия.

Полносвязная топология (смешанная)

При этой топологии устройства в сети (nodes, узлы) соединяются по принципу «каждый с каждым». Эта топология не используется в современных сетях, так как при наличии N узлов каждый узел должен иметь (N-1) интерфейс, что абсолютно не реально.

Звезда

Все устройства сети подключены по топологии «точка-точка» к центральному устройству. Центральным устройством в такой сети является хаб (hub -повторитель, концентратор) или коммутатор (switch). Хабы и коммутаторы могут соединяться друг с другом по топологии «иерархическая звезда».

Пассивный концентратор осуществляет простое соединение без регенерации и усиления сигнала (в оптоволоконных системах - это сплиттеры). Активные концентраторы, помимо соединения всех устройств, регенерируют и усиливают сигнал (физический уровень), а также осуществляют управление сетевым трафиком. Если хаб выполняет трансляцию входного сигнала на все порты, то сеть имеет логическую топологию «шина».

Современные коммутаторы выполняют в сети функции до 3 - 4-го уровня ЭМВОС. В сетях такой топологии легко обнаруживать ошибки (именно поэтому она используется во всех современных вариантах Ethernet). С другой стороны, такая сеть требует большого количества кабеля, и поэтому стремятся использовать относительно дешевую витую пару УТР. В случае выхода из строя центрального устройства, вся сеть перестает функционировать.

Шина

Используется линейное подключение устройств к отрезку кабеля. Очень экономная и простая топология, но трудно локализовать неисправности оборудования и сбой МО. Сеть неэффективна с точки зрения модификации (расширения) системы. Примером являются старые версии Ethernet на коаксиальном кабеле (10Base-5 и 10Base-2).

Кольцо

Представляет собой кольцо повторителей или коммутаторов. Такая сеть обеспечивает соединение «точка-точка» между двумя соседними узлами. Подчеркнем, что это не кольцо рабочих станций. Примером может служить сеть FDDI.

Гибридная топология

Гибридные топологии комбинируют топологии звезда, шина, кольцо. Это наиболее часто реально используемая топология. Примером является сеть Token Ring, которая в общем случае имеет комбинированную звездно-кольцевую конфигурацию. Недостатком такой топологии является сложность применяемых протоколов.

Методы доступа в канал

Метод доступа в канал - это правила, которые описывают, как устройства разделяют канал связи, обращаются к каналу и освобождают его. Существуют три основных метода доступа в канал: соревнование, голосование, передача маркера.

Соревнование (contention)

При соревновательном методе доступа любое устройство пытается начать передачу тогда, когда захочет. Нет арбитра, который бы разрешал или запрещал работу. Естественно, если два или более устройств передают одновременно, то происходит искажение передаваемых кадров - коллизия. Существуют протоколы, при использовании которых устройства прослушивают сигнал в канале связи (несущую) до начала передачи, и определяют, можно передавать кадр в данный момент или следует отложить передачу во избежание коллизии. Такие протоколы имеют название CSMA (carrier sense multiple access, множественный доступ с контролем несущей). При этом существует два типа множественного доступа: с обнаружением коллизий CSMA/CD (например, IEEE 802.3 Ethernet) и с предупреждением коллизий CSMA/CA (IEEE 802.11 Wi-Fi). В современных приложениях обычно CSMA/CA используется в неограниченных средах, а CSMA/CD в ограниченных средах. Топологией сети является звезда. Достоинством этих методов доступа является их простота, а недостатком то, что время доступа предсказуемо только исходя из статистических соображений, и сложность задания приоритетов устройствам для ускорения доступа.

Голосование (polling)

При этом методе доступа одно устройство опрашивает и контролирует остальные устройства сети, выступая, как администратор доступа (master, controller). Обычно

топологией сети является звезда или шина. Примером реализации может служить контроллер мейнфрейм, опрашивающий терминалы, или кластер-контроллер сервера. В неограниченных средах метод частично используют протоколы семейства 802.16d (Wi-Max). При этом базовая станция выделяет каждому из устройств полосу частот для работы при входе в сеть (соревнование устройств имеет место только при первоначальном входе в сеть) и может задать приоритеты устройствам согласно выделяемой полосе. Достоинством доступа голосованием является предсказуемость минимального и максимального времени доступа, возможность присвоения приоритетов трафику.

Маркер (token)

При маркерном способе передачу данных можно начать при получении маркера - специфического маленького пакета определенного формата. Обычно он вырабатывается устройством сети с наименьшим адресом. Устройство, получившее маркер, контролирует канал, пока владеет маркером. По очереди контроль канала осуществляется каждым из устройств в сети по правилам, установленным протоколом. Примером реализации этого метода доступа является сеть IEEE 802.5 Token Ring (Маркерное кольцо). Обычно логической топологией сети является кольцо. Достоинством маркерных методов доступа является предсказуемость времени передачи, множество возможностей по управлению трафиком. Недостатком является их сложность, так как каждое устройство в сети должно уметь делать все, иметь полную функциональность. Поэтому, устройства сети имеют сложное МО.

Технологии коммутации

В телекоммуникационных сетях используют три основные технологии коммутации: коммутация каналов (КК), коммутация сообщений (КС) и коммутация пакетов (КП).

При коммутации каналов устанавливается физическое соединение между передающим и принимающим устройствами (А и М). Примером является соединение в телефонной сети ТфОП или сети ISDN. Соединение, установленное в сети с коммутацией каналов, сохраняется до конца сеанса связи, независимо от того, ведется передача информации или нет, и разрушается по инициативе одного из конечных устройств. Достоинствами такого метода коммутации является его простота и отсутствие задержек при передаче информации после установления соединения. К недостаткам можно отнести неэффективное использование пропускной способности канала из-за наличия временных пауз в информационном потоке между конечными устройствами и возможные отказы сети на запрос установления соединения. При строительстве современных высокоскоростных сетей такая коммутация практически не применяется.

Коммутацией сообщений называется совокупность операций по приему узлом сети от оконечного устройства или другого узла целого сообщения (файла, блока данных), хранению принятого сообщения в памяти узла и последующей передаче в соответствии с содержащимся в нем адресом. Таким образом, сообщение поэтапно, с переприемом в каждом узле, передается через ряд узлов в пункт назначения. Передающая станция (источник) снабжает сообщение адресом получателя (Destination Address, DA) и собственным адресом (Source Address, SA). Разные сообщения между отправителем и получателем (А и М) могут проходить в сети разными путями.

Примером реализации данного метода коммутации может служить телеграфная

сеть. В компьютерных сетях в чистом виде этот вид коммутации не применяется, хотя сама идея «store and forward» (запомни и отправь) используется в системах передачи почты (MHS-message handle systems).

Узлы сети с коммутацией сообщений должны иметь буферную память неопределенного размера и большое дисковое пространство для временного хранения данных. Возникают сложности при работе в режиме реального времени из-за непредсказуемых и больших задержек сообщения в сети. К достоинствам такого метода коммутации можно отнести более эффективное, чем при коммутации каналов, использование каналов сети (сообщения передаются по очереди, использование каналов достигает 95% - 98%), широкие возможности по управлению трафиком, возможность отправить одно сообщение многим (broadcast messages).

Метод коммутации пакетов является основным в компьютерных сетях, и впервые был предложен Rand Corporation, а затем широко внедрен при реализации сети ARPANET (1964 - 1967 гг.). Передаваемое сообщение разбивается на относительно короткие части (пакеты), каждый из которых снабжается заголовком (служебная информация). Предполагается, что такой пакет имеет адрес источника и адрес отправителя (SA и DA). Так как пакет имеет фиксированную максимальную длину, то не требуется дисковой памяти для его хранения, достаточно оперативной памяти, что значительно сокращает задержки передачи.

Существуют два метода пакетной коммутации: передача дейтаграмм (datagram) и передача по виртуальным каналам (virtual circuit).

При передаче в дейтаграммном режиме каждый пакет содержит адреса отправителя и получателя, служебную информацию и последовательный номер пакета в сообщении. Дейтаграммы, принадлежащие одному сообщению, движутся в сети независимо друг от друга. Принимающее устройство собирает сообщение из пакетов согласно их номерам.

При передаче по виртуальным каналам создаётся логическое соединение между устройствами (logical connection), то есть в сети организуется маршрут для передачи пакетов определенного информационного потока (сообщения). Соединение устанавливается до начала передачи данных путем обмена служебными пакетами между отправителем и получателем. В них содержатся параметры передачи (максимальный размер пакета с данными, путь передачи, скорость передачи, необходимость подтверждения о доставке (acknowledgement), согласование процедуры контроля над ошибками и процедуры управления соединением).

Передача при помощи дейтаграмм более гибкая, требует меньше затрат на администрирование, но менее надёжна, чем передача по виртуальным каналам.

Пакетная коммутация требует сложных программных решений и быстрых устройств коммутации, и это сдерживало её развитие раньше. При пакетной коммутации обеспечиваются малые задержки пакетов внутри сети, так как нет длинных сообщений, и, следовательно, нет задержек в буферной памяти узлов. Имеются широкие возможности управления трафиком (можно иметь различные алгоритмы поиска маршрутов и обходить загруженные участки сети). Поэтому пакетная коммутация реализована во всех современных высокоскоростных системах передачи данных.

Связь сегментов сетей

После решения проблемы объединения отдельных компьютеров в сети (80-ые годы прошлого века) возникла необходимость соединять сети компьютеров между собой. Это соединение осуществляется при помощи специальных устройств - коммутаторов, маршрутизаторов и других устройств. Возник термин «сегмент сети» - часть сети, которая не содержит соединяющих устройств. Устройства, соединяющие сети (сегменты одной большой сети), подразделяются на виды в зависимости от уровня ЭМВОС, на котором они работают.

Репитеры или хабы

Хаб (hub) не производит анализа информации. Он на мгновение запоминает значения сигнала «0» или «1», соответствующим образом их регенерирует, усиливает и отправляет во все присоединенные сегменты сети. Теоретически эти функции должны выполняться на пути от источника до получателя столько раз, сколько необходимо. На практике многие сети ограничивают количество хабов. Например, в версиях 10Base Ethernet на коаксиальном кабеле число хабов не должно превышать 4 (5 сегментов сети).

Мосты (bridge) и коммутаторы (switch)

Если в сети большой трафик, то целесообразно разделить ее на сегменты, в которых компьютеры чаще всего работают между собой. Для этого применяют мосты, которые пересылают сообщение не всем устройствам сети, а только в тот сегмент сети, в котором находится получатель. Мосты - это устройства, разделяющие сети. Они работают с физическими адресами станций на канальном уровне протоколов ЭМВОС. В отличие от хаба мост может разрешать доступ к физическим устройствам, либо запрещать его, то есть, способен регулировать трафик. В процессе работы мост опрашивает устройства сети, записывая в специальной кэш-таблице в оперативной памяти адреса новых устройств.

Работая в сегменте 1, мост получает все кадры этого сегмента, игнорирует кадры, адресованные станциям сегмента 1, а кадры, адресованные станциям сегмента 2, передает на соответствующий порт. Существует три типа протоколов маршрутизации мостов:

- TR или STA (transparent, прозрачный или обучающийся) — использует алгоритм STA (Spanning Tree Algorithm), который применяется, например, во всех версиях коммутируемого Ethernet;

- SR (source routing, маршрутизация от источника) - информация о маршруте содержится в каждом передаваемом пакете; используется в сети Token Ring IBM;

- SRT (source routing transparent) - комбинация двух перечисленных выше типов.

TR или STA мосты не требуют какого-то начального программирования при включении (инициализации). Они анализируют трафик и «выучивают» принадлежность адресов устройств к сегментам сети (каждый порт ассоциируется с одним сегментом). Такой мост создаёт динамическую базу данных адресов устройств и определяет, передать или удалить кадр согласно адресу получателя. Обычно эти мосты применяются в сетях, имеющих топологию «иерархическая звезда»: центральный мост и каждый луч звезды представляет собой дерево мостов. Такое объединение называют "collapsed backbone". Протокол называют прозрачным, так как он прозрачен для станций сети (каждая станция

может связываться с любой другой как в одном большом сегменте, не думая о маршруте) и, с другой стороны, прозрачен для протоколов, начиная с сетевого уровня и выше.

Мосты с маршрутизацией от источника SR применяются для соединения колец Token Ring и FDDI. Мосты объединяются в кольцо, а к каждому мосту в свою очередь присоединяется еще кольцо станций. Такое объединение называют "token backbone". Отправитель помещает в каждый посылаемый кадр всю адресную информацию о промежуточных мостах и кольцах, которые должен пройти кадр, перед тем как попасть в кольцо, к которому подключена станция-получатель.

SRT-мосты работают как TR, если в кадре нет маршрутизирующей информации и как SP - если такая информация есть.

Мосты очень быстрые и дешевые устройства, но в целях обеспечения прозрачности они вынуждены передавать весь общий служебный (broadcast, multicast) трафик во все сегменты сети. Кроме того, при работе с сегментами, где имеется различная скорость передачи данных, мосты становятся узким местом, так как не умеют ей управлять. Применимы они только в небольших сетях (до 50 пользователей).

Коммутатор – это мультипортовый мост. Он обеспечивает передачу кадров (ячеек в сети ATM) от станции к станции в режиме точка-точка (point to point). При этом станции в сети работают параллельно, то есть передача может вестись одновременно между всеми парами портов. Коммутация осуществляется по физическим адресам устройств (MAC-адресам). Существуют два типа коммутации: "буферная" (store and forward), при которой коммутаторы помещают пришедшие кадры целиком в буфер выходного порта и обрезная (cut-through), при которой коммутаторы начинают транслировать кадр в выходной порт сразу по получении заголовка, не дожидаясь полного рассмотрения кадра.

Маршрутизаторы (роутеры)

Маршрутизатор (router) - это устройство, работающее на сетевом уровне ЭМВОС и использующее одну или более *метрик* для определения оптимального пути передачи сетевого трафика на основании информации (заголовка пакета) сетевого уровня. Путь оценивается количественными показателями, которые называются метриками. Лучший путь - это путь с наименьшей метрикой.

На основании информации об устройствах в сети (таблицы маршрутизации) и определенных правил (протоколы маршрутизации), маршрутизатор выбирает выходной физический порт для пересылки пакета сетевого уровня получателю или следующему на пути маршрутизатору.

На сетевом уровне создаётся логический адрес сети. Этот адрес присваивается операционной системой или администратором системы просто для идентификации группы компьютеров. Такую группу иначе называют «subnet» (подсеть). Подсеть может совпадать с физическим сегментом, а может не совпадать. Надо помнить, что физические адреса устройств задаются производителем аппаратуры (аппаратно или при помощи программного обеспечения). Например, физический адрес рабочей станции - это уникальный адрес сетевого адаптера, который прошивается производителем. База данных физических адресов ведется компанией Хехох. Двух устройств с одним физическим адресом в сети не может быть. Маршрутизаторы не видят физических адресов, они пересылают информацию по логическим адресам подсетей.

Определение маршрута передачи данных происходит программно.

Соответствующие программные средства носят названия *протоколов* маршрутизации.

Маршрутизаторы позволяют достичь получателя при помощи множества путей, управлять трафиком на основе метрик, осуществлять в целях безопасности фильтрацию трафика, работать с сегментами сетей различных технологий (например, одновременно с Ethernet, ATM и FDDI). Но они не являются быстрыми устройствами и сложны в поддержке. Применяются маршрутизаторы в больших корпоративных и глобальных сетях для соединения сегментов.

Шлюзы

Шлюз (Gateway) - это устройство для соединения подсетей по протоколам выше 3-го уровня ЭМВОС. Они применяются в сложных гетерогенных сетях. Существуют шлюзы, выполняющие конвертацию всех семи уровней протоколов ЭМВОС (обычно это аппаратные средства на первых двух уровнях и программное обеспечение на остальных уровнях). При этом они могут быть выделены только для осуществления функций соответствия различных протоколов друг другу, а могут выполнять еще и другие функции. Например, шлюз и одновременно файл-сервер сети.

Рекомендуемая литература

1. Bay Networks Guide to Understanding 100BASE-T. Bay Network, Inc. 1996.
2. Bay Networks Connectivity Guide. Bay Network, Inc. 1995.
3. Technical Reference Pocket Guide. Bay Network, Inc. 1995.
4. The Cabletron Systems Guide to Local Area Networking. European Headquarters Cabletron Systems Limited, 1992.
5. Technical Guide To FIBER OPTICS, second edition, Donald J. Sterling, AMP, Delmar Publishers Inc, USA, 1993.
6. Network Technologies Instructor's Guide. Novell Inc.
7. Quidway AR28 Operation Manual Huawei Technologies. Version 3.4.
8. Codenoll Technology Corporation. The Fiber Optic LAN Handbook. 1990.
9. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Б.И. Крук, Б.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов; под ред. профессора В.П. Шувалова. - М.:Горячая линия-Телеком, 2004.
10. Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи. Учебное пособие. - М: Горячая линия-Телеком, 2007.
11. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. - М: Горячая линия-Телеком, 2005.

авторы. Докучаев В.А. (д.т.н., профессор), Беленькая М.Н., Яковенко Н.В.