

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО "Сибирская государственная автомобильно-
дорожная академия (СибАДИ)"

А.М. Пуртов

СИСТЕМЫ И СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Учебное пособие

Омск
СибАДИ
2010

УДК 004.7
ББК 32.973.2
П 88

Рецензенты:

д-р техн. наук С.В. Зыкин (ОФ ИМ СО РАН);
канд. техн. наук Ю.П. Токарев (ОФ ОАО «Сибирьтелеком»)

Работа одобрена редакционно-издательским советом академии в качестве учебного пособия для специальностей 075500, 220200, 351400.

Пуртов А.М.

П 88 Системы и сети передачи данных: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2010. – 100 с.

Дан обзор физической среды систем и сетей передачи данных, описаны методы формирования сигналов, представлена эталонная модель взаимосвязи открытых систем, логическая структура уровней. Рассмотрены методы доступа к каналу в локальных сетях, приведены примеры организации физической среды Ethernet. Делается обзор основных протоколов распределенных сетей. Материал сопровождается большим количеством иллюстраций.

Предназначено для студентов специальностей 075500, 220200, 351400, изучающих курсы, связанные с компьютерными сетями, системами передачи данных.

Табл. 2. Ил. 54. Библиогр.: 6 назв.

© ГОУ "СибАДИ", 2010

1. ТОПОЛОГИИ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Сеть передачи данных (СПД) – совокупность оконечных устройств (терминалов) связи, объединённых каналами передачи данных и коммутирующими устройствами (узлами сети).

Выделяют следующие основные виды СПД.

Телефонные сети – сети, в которых оконечными устройствами являются телефоны.

Компьютерные сети – сети, оконечными устройствами которых являются компьютеры. В сложных СПД узлы и каналы связи могут быть реализованы с помощью компьютерных сетей. Поэтому понятия СПД и компьютерная сеть часто совпадают.

1.1. Базовые топологии

Под структурой сети передачи данных (СПД) будем понимать отображение, описание физических и логических связей между ее элементами. Под топологией сети будем понимать часть общей структуры сети, отражающей физические, территориальные, пространственные связи между ее элементами. Топология связана с местом расположения объектов, их внешним видом. На рис. 1.1 представлены основные топологии СПД.

Общая шина. Характеризуется использованием общего канала множеством устройств. При этом в передаваемых данных содержится адрес того устройства, которому они предназначены. Данные получает то устройство, адрес которого содержится в передаваемых данных. Основные преимущества – простота и низкая стоимость. Основные недостатки – относительно малая надежность и сложность организации очередности доступа к каналу. Наиболее популярное использование – локальные сети Ethernet. Общая шина может состоять из нескольких физических линий, как, например, в персональном компьютере.

Кольцо. Пользователи сети могут быть объединены в кольцо одним каналом или независимыми каналами. Первый случай походит на общую шину. Разница в том, что из кольца, в отличие от общей шины, необходимо удалять передаваемые данные. Наиболее популярное использование – технологии Token Ring и FDDI. Требуется управление доступом к каналу. Во втором случае кабельная система дороже, данные передаются с ретрансляцией, зато станции могут

обмениваться данными относительно независимо друг от друга. Если каналы двунаправленные (дуплексные или полудуплексные), существует два маршрута для передачи данных между двумя точками, что повышает производительность и надежность сети. Второй вид кольца чаще всего применяется при больших расстояниях между узлами, при использовании для их соединения выделенных каналов.

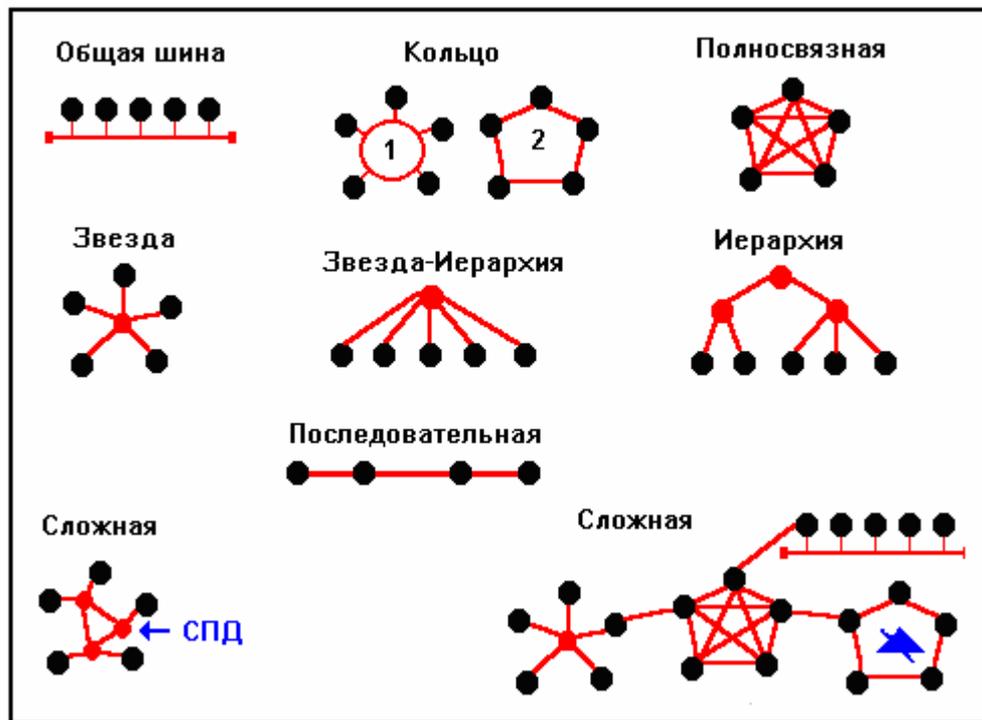


Рис. 1.1. Базовые топологии

Полносвязная. Каждая пара узлов соединена между собой отдельным каналом. Для этой топологии характерна высокая стоимость кабельной системы из-за ее большой протяженности. Полносвязная сеть позволяет обеспечить высокую производительность и надежность передачи данных. Используется, например, при соединении АТС городской телефонной сети, для построения сети передачи данных общего пользования.

Звезда. Является в то же время элементом иерархической топологии. Отличается относительно высокой стоимостью кабельной системы, особенно при больших расстояниях между узлами сети. Позволяет сосредоточить в одном месте все проблемы по передаче данных, по адресации. Используется в локальных сетях, для построения широковещательных радиосетей, радиосот. Недостаток

состоит в том, что надежность системы сильно зависит от надежности центрального узла.

Иерархия. Позволяет сократить суммарную длину кабелей (по сравнению со звездой) и структурировать систему в соответствии с функциональным назначением элементов. Практически все сложные системы имеют в своем составе иерархические структуры.

Последовательная. Узлы последовательно соединены каналами связи. Позволяет передавать данные на большие расстояния. В узлах обычно происходит ретрансляция сигналов (усиление, восстановление).

Сложная топология. Является совокупностью типовых, базовых топологий. Для локальных сетей с небольшим числом компьютеров простые топологии более характерны, чем сложные. Крупные сети обычно имеют сложные топологии.

1.2. Реальные топологии

На рис. 1.2 представлены некоторые популярные реальные топологии. Реальные сети имеют обычно сложную топологию. В разных фрагментах сети, на разных уровнях можно увидеть разные топологии даже в сетях, имеющих, казалось бы, простую структуру. На рисунке показана разница между внешней и внутренней топологией кабельной системы.

В левой верхней части рисунка изображена сеть Ethernet, в которой общая шина реализована с помощью концентратора или коммутатора. Устройства могут быть соединены с помощью витой пары или оптического волокна. Внешне такая сеть выглядит как **звезда, иерархия**. Эти топологии мы видим на уровне устройств. Внутренние соединения реализованы с использованием общей шины. Общую шину мы не видим, но знаем, что она организована внутри концентраторов или коммутаторов Ethernet.

В правой верхней части рисунка изображены принципы построения сетей Token Ring и FDDI. В качестве передающей среды здесь также могут быть использованы витая пара или оптическое волокно. На рисунке мы можем увидеть и закольцованные концентраторы (изображенные прямоугольниками), и компьютеры (изображенные квадратами), подключенные к концентраторам с использованием топологий **звезда** и **иерархия** и в то же время **закольцованные** на уровнях электрических соединений и технологии

передачи данных. В нижней части рисунка показано, как станции, внешне соединенные последовательно волоконно-оптическим кабелем, на самом деле закольцованы за счет организации подключения (коммутации) отдельных жил кабеля.

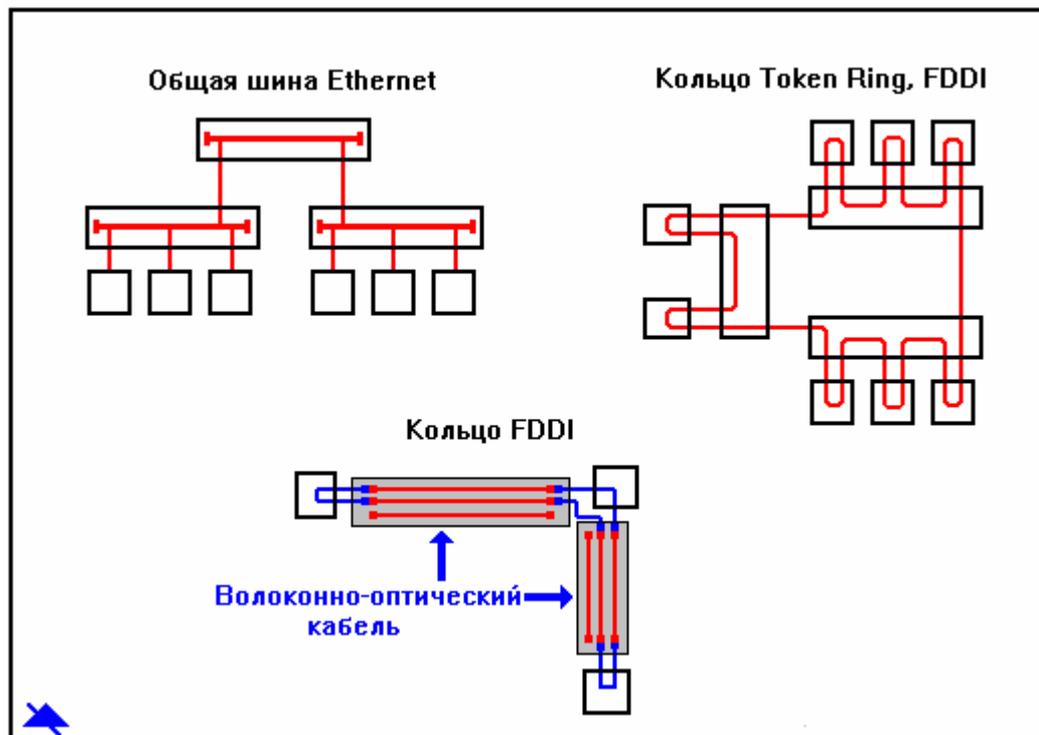


Рис. 1.2. Реальные топологии

Таким образом, топологии разных уровней (например, топология физических соединений и топология электрических соединений) могут значительно различаться.

1.3. Топология большой компьютерной сети

На рис. 1.3 представлена общая топология сложной компьютерной сети.

Назначение компьютерной сети – предоставление пользователям сетевого сервиса. Организация сетевого сервиса осуществляется сетевыми службами. Сетевой сервис предоставляет пользователю возможность выполнения следующих основных функций, в основе которых лежит удаленный доступ к сетевым ресурсам:

- работа с распределенными по сети файлами (передача, хранение, получение, воспроизведение);

- многопользовательский доступ к файлам, позволяющий иметь один экземпляр данных и организовать совместную работу пользователей в едином информационном пространстве;
- работа с территориально распределенными базами данных;
- распределенные вычислительные работы;
- прием, передача электронной почты;
- удаленное обслуживание, администрирование сети.

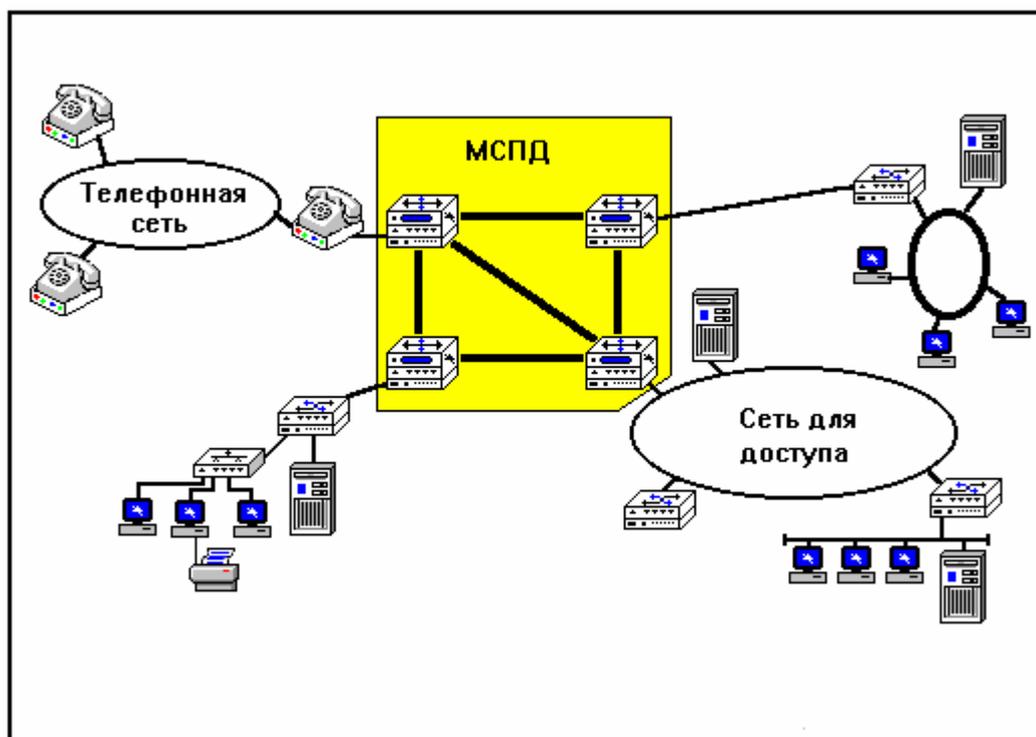


Рис. 1.3. Общая структура компьютерной сети

Основным поставщиком сетевого сервиса является **сервер**. В зависимости от выполняемых функций различают различные виды серверов: вычислительный, коммуникационный, почтовый, файловый, сервер удаленного доступа и др. Серверные функции могут быть реализованы программно (чаще всего) и/или аппаратно. Различные серверные функции могут выполняться одним или несколькими компьютерами. Сетевой сервис предоставляют и другие компоненты сети. Например, коммуникационное оборудование предоставляет сервис по передаче данных. Поэтому, строго говоря, сетевой сервис предоставляют все ресурсы сети. **Рабочая станция** является потребителем сетевого сервиса. Задача сети состоит в обеспечении связи рабочих станций и серверов. В сложных случаях

это реализуется с помощью магистральной сети передачи данных (МСПД). Узлами МСПД являются **маршрутизаторы** или **коммутаторы**, основной задачей которых является выбор маршрутов для передачи данных до адресата.

Узлы МСПД располагаются таким образом, чтобы облегчить подключение к ним пользователей. Каналы МСПД могут быть реализованы с помощью выделенных (арендованных) каналов телефонной сети, с помощью специально созданных каналов (спутниковых, оптоволоконных, радиоканалов). К магистральной сети подсоединяются пользовательские сети или отдельные абоненты. Можно выделить следующие популярные средства подключения к МСПД:

- выделенные или коммутируемые каналы телефонной сети;
- специально созданные каналы (на основе медного провода, оптического волокна, радиоканалы, спутниковые каналы);
- с помощью локальной сети, в состав которой входит магистральный маршрутизатор;
- с помощью региональной сети, в состав которой входит магистральный маршрутизатор.

На рисунке представлено следующее основное оборудование, необходимое для соединения рабочих станций, серверов, маршрутизаторов:

- модемы;
- концентраторы;
- коммутаторы.

Модемы служат для передачи данных по аналоговым (телефонным) каналам связи.

Концентраторы служат для объединения потоков данных, поступающих от подключенных к ним устройств. Некоторые концентраторы выполняют функции ретрансляторов, регенерирующих поступающие сигналы.

Основная роль **коммутаторов** состоит в коммутации каналов, заключающейся в соединении на своих внутренних шинах входных и выходных цепей в зависимости от того, куда направляются данные (коммутация каналов). Иногда коммутация осуществляется с помощью буферов, без непосредственного электрического соединения.

Коммутатор обычно значительно более сложное и дорогое устройство, чем концентратор. Иногда для названия того и другого

используется термин hub, что в переводе с английского означает центр, основа, сердце. При использовании термина hub часто непонятно, о чем идет речь, о коммутаторе или концентраторе. Путаница возникает также из-за того, что концентраторы иногда выполняют функции коммутации, а коммутаторы выполняют функции маршрутизации. Поэтому для понимания истинного назначения устройства надо меньше обращать внимание на название устройства, а больше на набор функций, которые оно выполняет.

1.4. Топология телефонной сети

Наиболее популярным средством передачи сигналов на большие расстояния являются каналы телефонных сетей. Понятия, термины, идеи телефонных сетей широко используются в теории и практике компьютерных сетей. На рис. 1.4 показана общая упрощенная топология телефонной сети. Этот рисунок демонстрирует сложную многоуровневую структуру телефонной сети. На нижнем уровне находится городская телефонная сеть, узлами которой являются автоматические телефонные станции (АТС). К АТС абоненты подсоединяются с помощью абонентских линий. На верхних уровнях находятся более крупные структуры с магистральными каналами связи: междугородные, региональные, государственные, международные сети.

Передача данных между компьютерами по телефонной сети может осуществляться разными способами. В простейшем, в настоящее время редком варианте, используется коммутируемый канал, аналогичный тому, с помощью которого соединяются два телефона. В этом случае оба компьютера подсоединяются к телефонной сети с помощью модема. Модемы преобразуют дискретный сигнал в аналоговый при передаче данных и осуществляют обратное преобразование при приеме данных. Для того, чтобы два абонента телефонной сети начали разговор, необходимо предварительно скоммутировать канал между ними на разных участках телефонной сети. Точно так же до того, как начнется обмен данными, должна быть установлена связь между двумя модемами. После установления связи с помощью какой-либо коммуникационной программы осуществляется передача данных.

Описанный способ передачи данных не является единственным. Например, при передаче электронной почты не обязательно

устанавливать соединение между двумя абонентами. Почта может передаваться с промежуточным хранением в узлах сети.

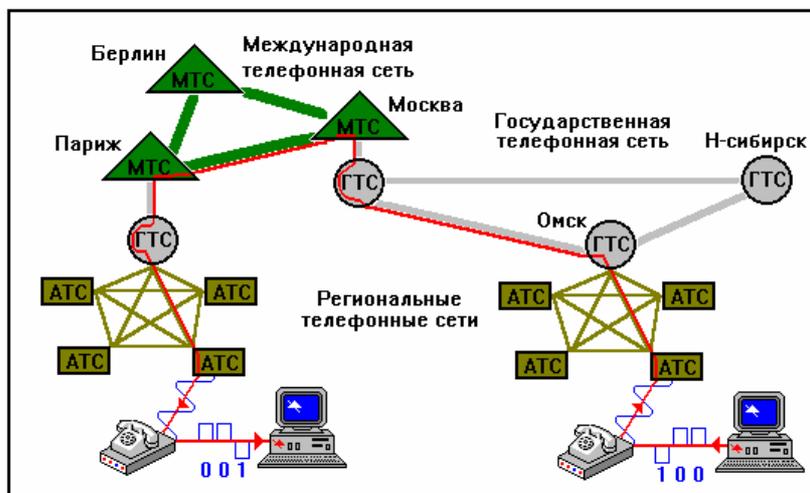


Рис. 1.4. Топология телефонной сети

Для соединения компьютеров может также использоваться постоянный выделенный арендуемый канал, скоммутированный на все время арендной платы. Стоимость такого канала растет по мере увеличения расстояния и количества ретрансляторов между компьютерами. Выделенные каналы используются обычно крупными организациями, провайдерами Internet. Для подключения к Internet пользователю достаточно подключиться с помощью услуг телефонной сети к своему провайдеру. Информационная связь с компьютерами всего мира при этом осуществляется как с помощью ресурсов международной телефонной сети, так и с использованием множества специализированных СПД.

2. ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ ПО ТЕЛЕФОННЫМ КАНАЛАМ

2.1. Спектры, сигналы

Человеческая речь на физическом уровне представляет собой звуковые колебания. Для построения физико-математических моделей таких колебаний используются, например, тригонометрические функции. Поэтому частота и амплитуда считаются существенными параметрами звука. Звук представляется композицией множества тригонометрических функций с разными параметрами (частота, амплитуда, фаза). Конкретный набор этих частот определяет высоту и тембр человеческого голоса.

Диапазон частот человеческого голоса составляет приблизительно от 200 до 15000°Гц, человеческое ухо различает частоты в диапазоне 40 – 18000°Гц. В телефонии считается приемлемым воспроизведение голоса в диапазоне 300 – 3400°Гц (европейский стандарт) или в диапазоне 300 – 3300°Гц (североамериканский стандарт). Разность верхней и нижней частот диапазона называется **полосой пропускания**.

Таким образом, электрический сигнал, с помощью которого переносится голос, состоит, как и исходный сигнал, из множества сигналов различной частоты (рис. 2.1). Структуру сложного сигнала удобно изображать с помощью спектра, показывающего, из сигналов каких частот и интенсивностей (амплитуд) он состоит.

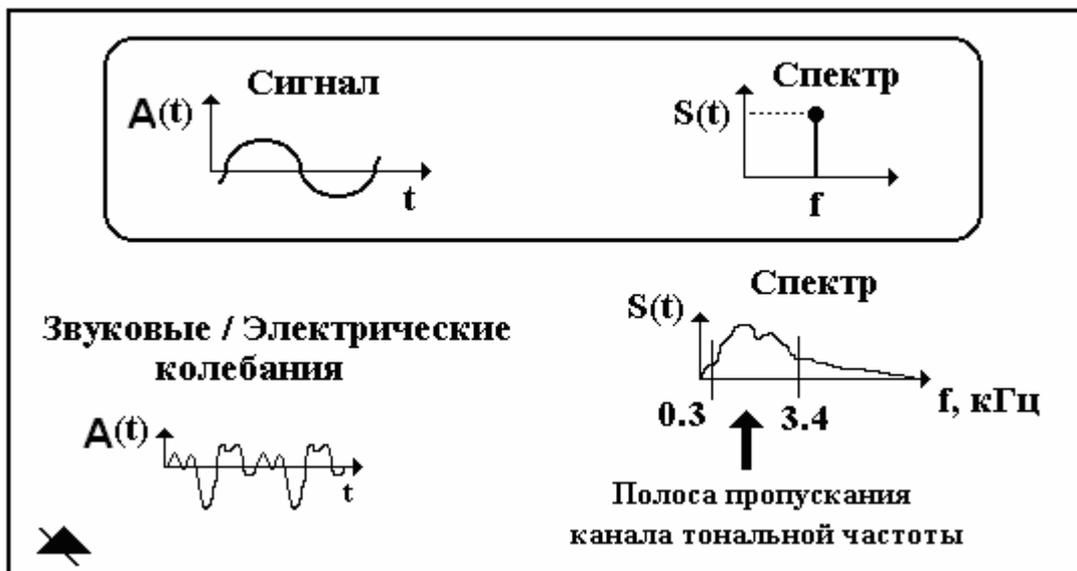


Рис. 2.1. Сигналы и спектры

Спектр простого одночастотного сигнала отображается всего лишь одной точкой или линией. Спектр сложного сигнала имеет сложную структуру.

Многочастотный сигнал, передаваемый по линии, имеет сложную форму и может быть представлен суммой синусоидальных сигналов. Математической интерпретацией этого факта является возможность разложения в ряд Фурье любой периодической функции с периодом 2π по формуле

$$A(t) = A_0 + \sum_k A_k \sin(k\omega t + \varphi_k),$$

где k меняется теоретически от 1 до бесконечности. Практически для получения сигнала нужной формы часто требуется ограниченный набор слагаемых. Получение конкретных параметров членов ряда составляет задачу гармонического анализа.

Известно, например, что для представления последовательности прямоугольных импульсов можно воспользоваться рядом [1]

$$S(t) = S_1 \sin \omega t + (S_1/3) \sin 3\omega t + (S_1/5) \sin 5\omega t + (S_1/7) \sin 7\omega t + \dots$$

На рис. 2.2 представлены функции, полученные из двух и пяти синусоид.

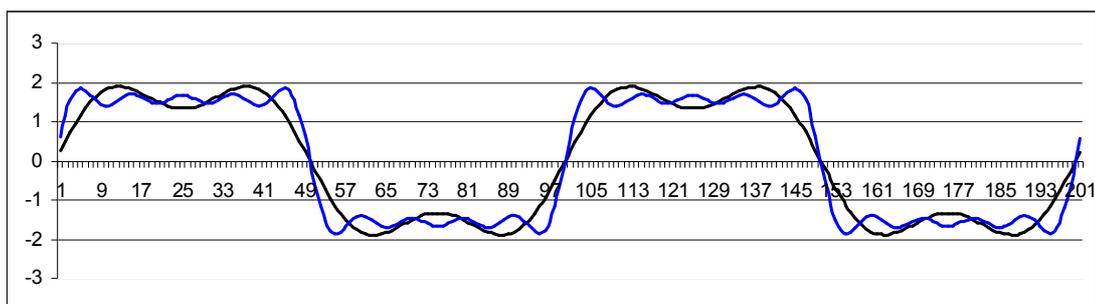


Рис. 2.2. Синтез прямоугольного сигнала из синусоид

Из рисунка видно, что по мере увеличения числа членов ряда, результирующий сигнал становится все более похож на прямоугольный. Таким образом, можно считать, что с помощью некоторого набора синусоид можно сконструировать или разложить периодический сигнал практически любой формы.

2.2. Перенос дискретных сигналов по аналоговым телефонным каналам

Оборудование телефонных станций обычно рассчитано на обработку аналоговых (непрерывных) сигналов. Поэтому данные переносятся по телефонным линиям в аналоговой форме. Для компьютеров более удобным является представление 1 и 0 в виде последовательности импульсов, сигналов дискретной (прерывной) формы. Поэтому при использовании аналоговых телефонных каналов для передачи данных между компьютерами существует проблема представления дискретных сигналов в аналоговой форме.

Различают переносчик сигнала (несущая) и переносимый сигнал. Переносимым сигналом в данном случае является последовательность импульсов, передаваемых между компьютерами. Процесс преобразования переносимого сигнала с помощью несущей называют модуляцией. Переносимый сигнал в данном случае выступает как модулируемый сигнал, а несущая считается модулирующим сигналом. При приеме из принятого сигнала выделяется переносимый сигнал. Этот процесс называется демодуляцией. Можно считать, что на стадии модуляции меняются параметры переносчика таким образом, чтобы он содержал информацию о переносимом сигнале. Обычно в качестве переносчика сигнала используется гармоническое колебание высокой частоты – несущее колебание. Математически гармоническое колебание можно представить в виде

$$A(t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

где $A(t)$ – текущее значение амплитуды; A – амплитуда синусоиды; ω – круговая частота; t – текущее время; φ – фаза (фазовый сдвиг).

Для кодирования переносимого сигнала происходит изменение одного или нескольких параметров несущего колебания (амплитуды, частоты, фазы), зависящее от параметров исходного сигнала (т.е. несущее колебание наделяется признаками первичного сигнала). В зависимости от того параметра несущей, который используется для кодирования информации, процесс называется амплитудной, частотной или фазовой модуляцией. **Таким образом, изменением**

любого из трех параметров можно кодировать логические 1 и 0. Основные три вида модуляции представлены на рис. 2.3.

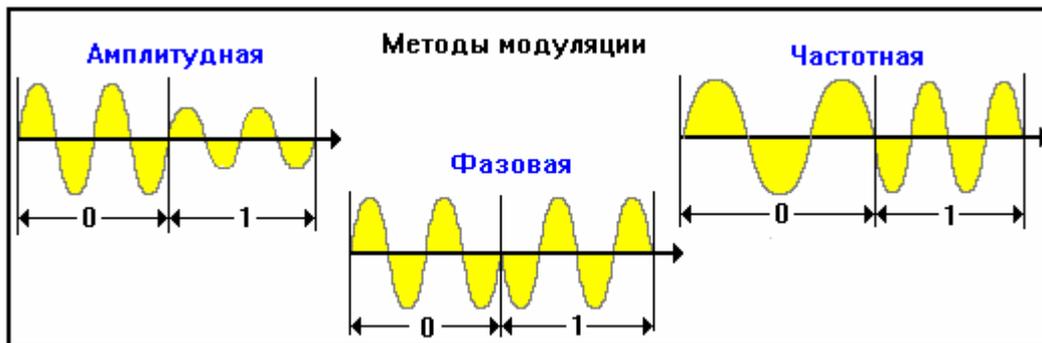


Рис. 2.3. Основные виды модуляции

Функции модуляции/демодуляции реализуются модемами. Часто используются комбинированные методы модуляции. Например, в современных модемах популярна амплитудно-фазовая модуляция, при которой для кодирования информации используется и амплитуда, и фаза несущей.

Если за один период колебаний переносится один бит данных, то телефонный канал на частоте 3000 Гц будет способен передавать данные со скоростью 3000 бит/с. Для увеличения количества битов, переносимых за один период колебаний, необходимо повышать качество каналов (уменьшать искажения сигналов) и увеличивать точность приемопередающей аппаратуры. Например, если аппаратура способна относительно надежно передавать и различать 16 уровней амплитуды сигнала, то за один период можно перенести 4 бита данных. В этом случае на частоте 3000 Гц можно будет передавать данные со скоростью 12000 бит/с. Таким образом, несмотря на то, что аппаратура АТС ограничивает максимальную частоту передаваемого по абонентскому каналу сигнала на уровне 3400 Гц, за счет передачи за один период нескольких битов возможно увеличение скорости передачи данных до нескольких десятков Кбит/с. Кроме того, следует учесть, что физические возможности абонентских линий позволяют передавать сигналы с частотами, превышающими 3400 Гц. Поэтому при установке специальной аппаратуры с двух сторон (у абонента и на АТС) скорость передачи данных по абонентской линии можно значительно увеличить (до 2 Мбит/с).

В литературе по модемам можно встретить разные единицы скорости передачи данных: биты за секунду (Bits Per Second – bps),

боды (baud) и символы за секунду (Character Per Second – cps). Эти термины не всегда интерпретируются однозначно. Примем следующие соглашения по поводу этих терминов.

Биты за секунду. Модем обменивается данными с компьютером через порты асинхронного последовательного адаптера. Данные передаются последовательно, бит за битом. Скорость, с которой происходит этот обмен, измеряется в битах за секунду – бит/с. Обычно, когда речь идет о скорости, с которой модем может передавать данные, используется термин *бит за секунду*, например, 2400 бит/с, 14400 бит/с.

Символы за секунду. При передаче данных между модемом и компьютером к каждому байту, поступившему на вход адаптера, добавляется какое-то количество битов (обычно два) служебной информации. Поэтому для подсчета скорости передачи данных между компьютерами в байтах (в символах) необходимо битовую скорость делить не на 8, а на 10. Таким образом, если передача битов между модемом и компьютером происходит со скоростью 14400бит/с, это соответствует скорости 1440 символов (байтов, содержащих пользовательскую информацию) за секунду.

Следует помнить и о том, что на реальную скорость передачи информации между компьютерами влияют такие факторы, как используемые алгоритмы сжатия данных, алгоритмы коррекции ошибок, качество линий связи.

Боды. Скорость в бодах определяется частотой несущего сигнала. Так, если за один период переносится 4 бита информации, то модем, работающий со скоростью 2400 бод (на частоте 2400 Гц), передает данные со скоростью 9600 бит/с.

2.3. Перенос аналоговых сигналов по цифровым телефонным каналам

Первоначально звуковой сигнал переносился по проводам исключительно в виде аналоговых (непрерывных) электрических сигналов. В настоящее время все чаще используется передача звука (и изображений) с помощью импульсных цифровых сигналов. В этом случае требуется преобразовать аналоговый сигнал в цифровой в передатчике и осуществить обратное преобразование в приемнике. Последовательность этапов решения этой проблемы методом **импульсно-кодовой модуляции (ИКМ)** приведена на рис. 2.4.

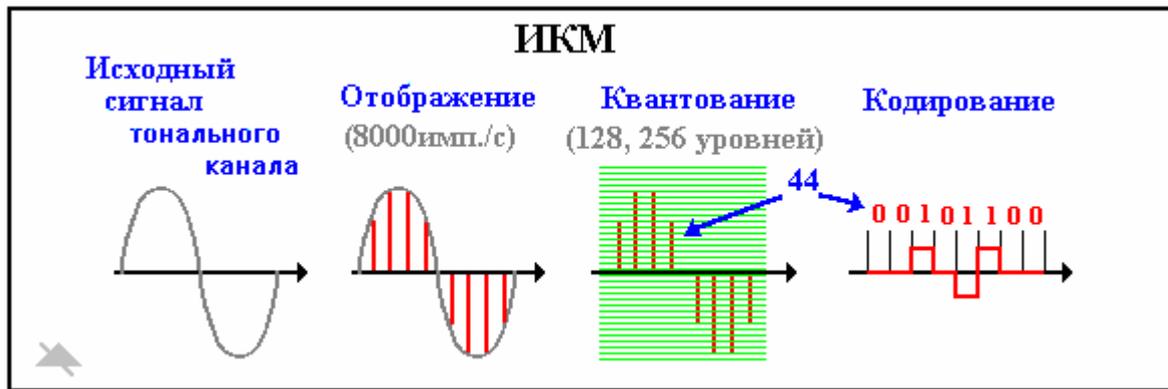


Рис. 2.4. Основные этапы импульсно-кодовой модуляции

Первый этап называется **отображение**. Он состоит в фиксации уровня (амплитуды) аналогового сигнала. Частота (скорость) фиксации уровня сигнала называется частотой дискретизации. Вопрос о том, как часто нужно измерять сигнал сложной формы, решался теоретически и практически. В 1933г. в работе «О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи» В.А.Котельников доказал теорему, ставшую основополагающей в теории и технике цифровой связи. Суть этой теоремы состоит в том, что непрерывный сигнал, спектр которого ограничен частотой F , может быть полностью и однозначно восстановлен по его дискретным отсчетам, взятым с частотой $f=2F$. Иначе говоря, если мы имеем периодический сигнал, то для однозначного его восстановления необходимо измерять этот сигнал с частотой, в два раза превышающей частоту его наиболее высокочастотной компоненты. Для телефонного сигнала наиболее высокочастотная компонента 3400 Гц. Практически было решено, что для нормального восстановления телефонного сигнала достаточно фиксировать его уровень с частотой 8000 Гц.

Суть второго этапа, называемого **квантованием**, заключается в округлении полученных значений уровня сигнала. В связи с тем, что технически неудобно обрабатывать все возможные уровни сигнала (теоретически их бесконечное множество), вводят ограничение на их возможное количество. Например, если для кодирования уровня сигнала использовать 8 бит, то можно иметь 256 разных уровней квантования. Если для кодирования использовать 7 бит, можно иметь 128 уровней квантования. Таким образом, каждое полученное значение амплитуды приводится к какому-то стандартному, близкому по величине уровню квантования. Здесь видно, что при этом

происходит некоторая потеря информации: иногда существенная, иногда нет.

На третьем этапе, называемом **кодирование**, каждому полученному значению уровня сигнала ставится в соответствие двоичное число. На этом этапе, например, могут быть также вставлены в поток единиц и ноликов биты проверки на четность. На приемной стороне поток замеров превращается в аналоговый сигнал.

Описанная процедура ИКМ является основой для других методов оцифровки аналоговых сигналов, например, использующих разные идеи, учитывающих закономерности форм акустических сигналов. Например, для малых изменений сигнала можно использовать малое количество уровней квантования, а большим изменениям сигнала поставить в соответствие большое количество уровней. Есть методы, реализующие неравномерный шаг дискретизации.

Если фиксировать уровень сигнала 8000 раз за секунду и для кодирования каждого уровня использовать 8 бит, то для реализации описанного метода ИКМ потребуется цифровой канал со скоростью 64 Кбит/с.

Дискретный канал с пропускной способностью 64 Кбит/с является основным «кирпичиком», с помощью которого строятся мощные многоканальные системы передачи данных.

2.4. Кодирование дискретных сигналов

Логические 1 и 0 представляются физическими сигналами. Одной из проблем передачи данных является точное определение интервала времени, на котором передаются логические 0 или 1. На рис. 2.5 приведены два способа решения этой проблемы при обмене данными компьютера с модемом.

При передаче подряд большого количества 1 или 0 передатчик и приемник могут рассинхронизироваться, т.е. приемник начинает неточно определять, сколько подряд единиц или нулей ему передано. Это может привести к потере отдельных данных. Один из способов предотвращения такой ситуации состоит в использовании специальной цепи синхронизации, позволяющей приемнику точно определить момент начала и окончания каждого бита. Кроме того, может использоваться дополнительная цепь, сигналы которой позволяют различить этапы присутствия и отсутствия данных в цепи данных. Передача с использованием цепи синхронизации называется

синхронной. Недостаток этого способа передачи заключается в необходимости иметь дополнительные цепи синхронизации, работающие с частотой, в два раза превышающей скорость передачи.

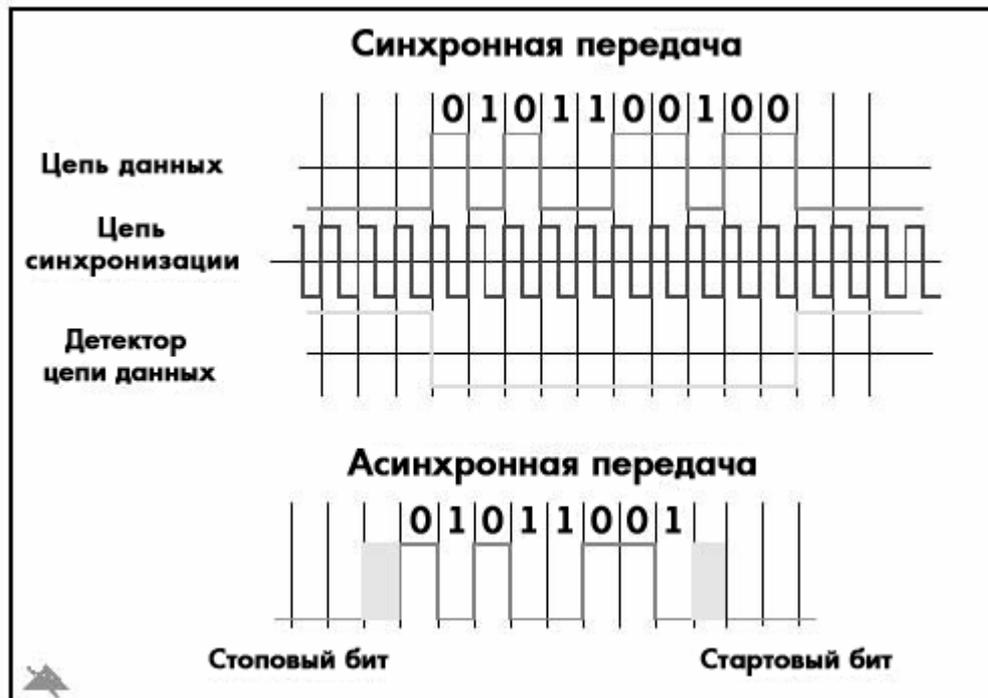


Рис. 2.5. Синхронная и асинхронная передачи

Другой способ синхронизации представлен в нижней части рисунка. Синхронизация заключается в передаче стартового и стопового битов, обрамляющих блок данных (байт) и указывающих моменты времени начала и окончания передачи байта. Главное требование к этим битам – приемник должен уметь отличать сигналы, соответствующие им, от сигналов, отображающих информационные биты. Основным недостатком асинхронного метода заключается в снижении скорости передачи из-за необходимости использования дополнительной служебной информации.

Приведенные способы организации синхронной и асинхронной передач являются типовыми, используемыми в разных протоколах на разных уровнях. Может меняться только величина синхронизируемого блока (бит, кадр) и метод реализации начала и окончания блока. Во многих протоколах блоки данных ограничиваются с двух сторон.

Не всегда удобно иметь специальную цепь синхронизации. Часто синхронизация передатчика и приемника осуществляется с помощью

специального кодирования сигналов с использованием синхронизирующих (самосинхронизирующих) кодов. В основе самосинхронизации лежит идея повышения частоты изменения уровня сигнала при передаче данных. Самые лучшие синхронизирующие коды^о—это те, при использовании которых состояние линии часто меняется, поскольку эти изменения состояния (например, перепад напряжения) говорят приемнику о моментах начала и окончания передачи битов. На рис. 2.6 представлены популярные методы кодирования дискретного сигнала перед его передачей в линию [2].

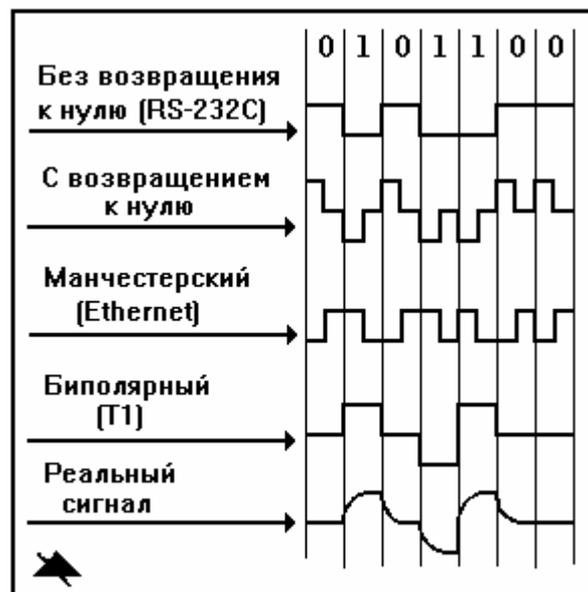


Рис. 2.6. Методы кодирования дискретного сигнала

Код «без возвращения к нулю», используемый в последовательном порту персонального компьютера (RS-232C), имеет слабые синхронизирующие возможности. При передаче данных между модемом и последовательным портом компьютера синхронизация осуществляется с помощью старт/стоповых битов. Здесь следует заметить, что необходимо различать понятия **стандарт RS-232C** и **последовательный порт компьютера COM**. Изложенный в полном объеме, стандарт RS-232C предполагает использование 25 контактных разъемов и наличие цепей синхронизации. В портах COM реализовано некоторое подмножество цепей, предусмотренных интерфейсом RS-232C, в частности, отсутствуют цепи

синхронизации. Поэтому для реализации порта СОМ может быть использован 9-контактный разъем.

Код «с возвращением к нулю» (RZ-код) имеет хорошие синхронизирующие возможности. Основной его недостаток в том, что он требует удвоенной частоты (скорости в бодах) по сравнению со скоростью передаваемых битов. Коды такого типа используются в оптоволоконных линиях связи.

Манчестерский код аналогичен по своим свойствам коду RZ, но более сложен для реализации. Используется в локальных сетях Ethernet.

Биполярный код имеет три значащих уровня. Для отображения единицы используются чередующиеся положительные и отрицательные импульсы. Для представления нуля используется нулевой уровень сигнала. Проблемы возникают при передаче подряд большого числа нулей. Используется в цифровых линиях T1. В нижней части рис. 2.6 изображена форма реального сигнала.

3. КАБЕЛИ, ЛИНИИ, КАНАЛЫ СВЯЗИ

Для разных целей необходимы каналы разной пропускной способности. Для организации каналов используются различные физические среды. На рис. 3.1 приведены частотные диапазоны, в которых наиболее типично использование различных физических сред. Реальные частотные возможности физической среды зависят от условий эксплуатации, в первую очередь от расстояний, на которые передаются данные.

3.1. Кабельные каналы

Медный провод. На основе медного провода строятся симметричный и коаксиальный кабели. Симметричный кабель состоит из пары скрученных (витая пара) или нескрученных проводов. Коаксиальный кабель представляет собой надежно экранированный центральный медный проводник.

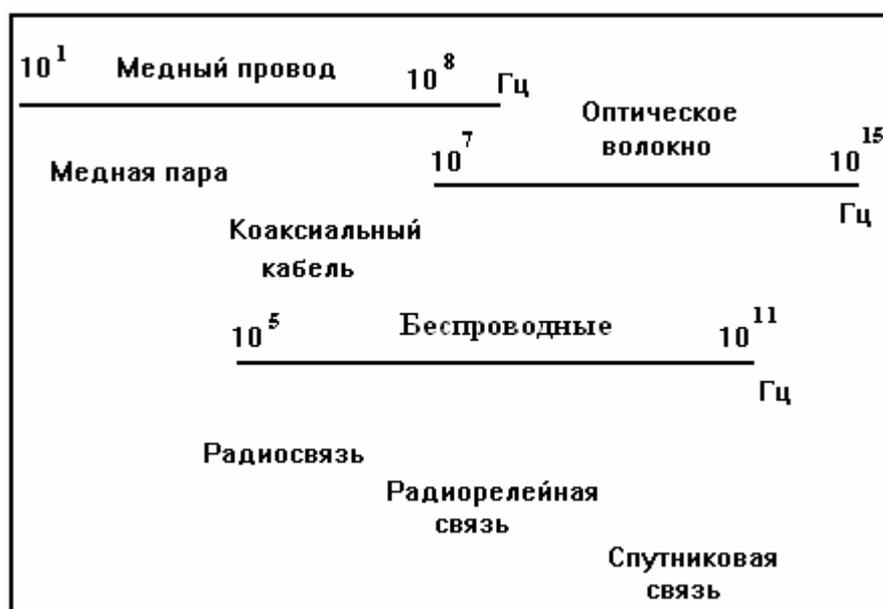


Рис. 3.1. Частотные возможности физических сред

Медные пары в телефонных сетях служат для построения абонентских линий и межстанционных соединений. В абонентской линии медные пары используются как для передачи аналогового сигнала в диапазоне частот 300-3400 Гц, так и для передачи дискретных сигналов. В принципе медная пара способна передавать

сигналы на небольшие расстояния (примерно до 2 км) и на более высоких частотах. Это подтверждают современные модемы, передающие данные от абонента до АТС со скоростью до 2 Мбит/с. Проблема заключается только в оборудовании, размещенном на АТС, отсекающем высокие частоты. На межстанционных участках медная пара используется для организации широкополосного канала с частотным уплотнением или с временным разделением при использовании ИКМ. Все чаще обычная абонентская линия начинает использоваться для организации цифровых каналов. Естественно, без участия АТС это невозможно. В локальных сетях используются особо качественные медные пары, способные передавать данные со скоростями до нескольких десятков Мбит/с.

Коаксиальный кабель (рис. 3.2), благодаря хорошей защищенности от внешней среды, позволяет осуществить высокоскоростную передачу данных на большие расстояния. В левой части рисунка приведен кабель, используемый в телефонии, для кабельного телевидения. В правой части рисунка изображен кабель, который применяется в локальных сетях Ethernet для передачи данных со скоростью до 10 Мбит/с.

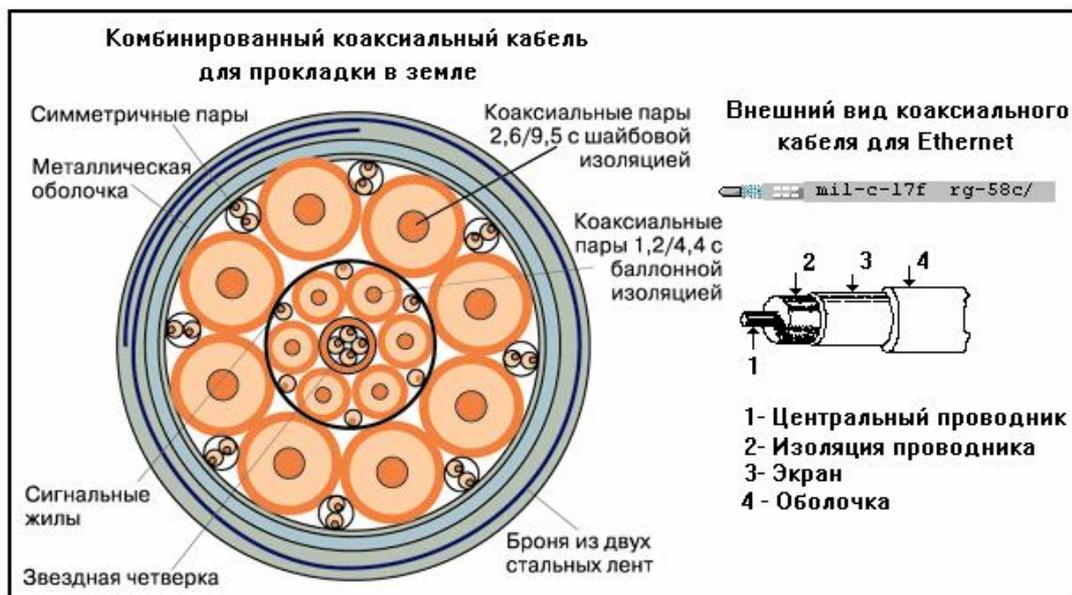


Рис. 3.2. Коаксиальный кабель

Оптическое волокно. На рис. 3.3 представлена технология использования оптического волокна. Типичный световод состоит из сердцевины и оболочки. У сердцевины показатель преломления

больше, чем у оболочки, из-за чего световой луч испытывает практически полное внутреннее отражение на границе "сердцевина-оболочка". Выполняются и сердцевина, и оболочка из кварцевого стекла. Поверх световода обычно накладывают несколько слоев защитных покрытий, улучшающих его механические и оптические характеристики. Световод со всеми покрытиями называют оптическим волокном. Покрытия делают из полимерных материалов.

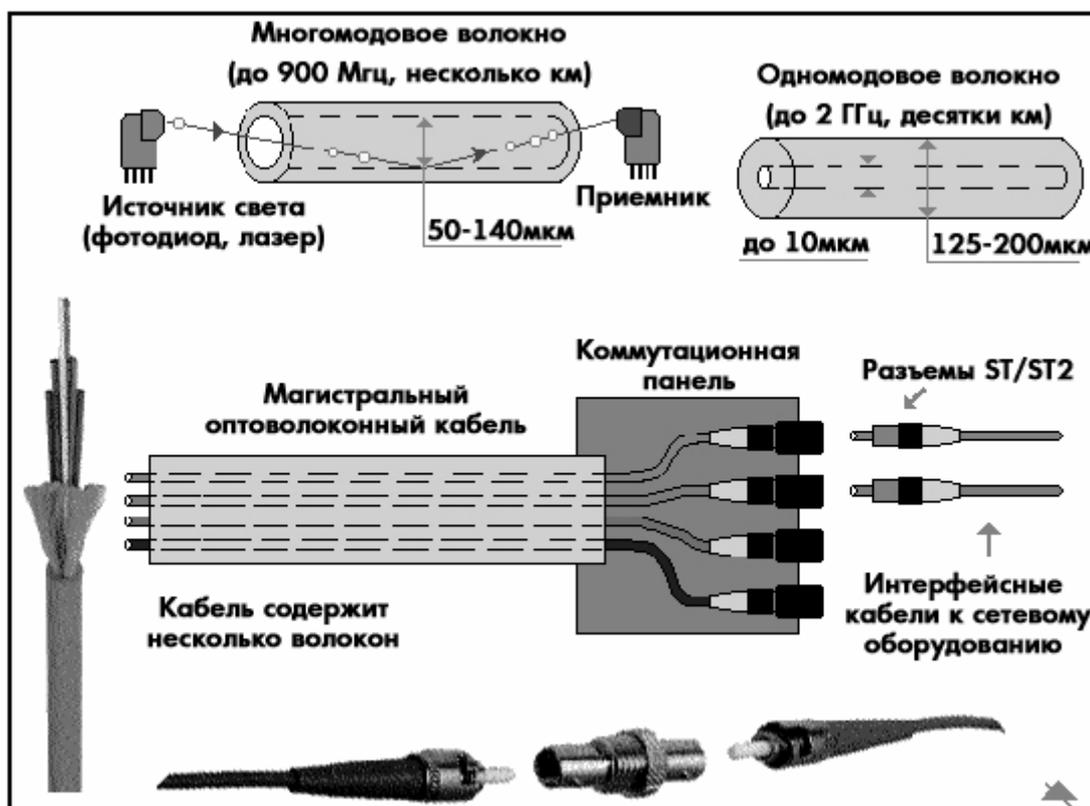


Рис. 3.3. Использование оптического волокна

Различают два основных типа оптических волокон: многомодовое и одномодовое. Диаметр сердцевины у многомодовых волокон в десятки раз превышает длину волны передаваемого излучения, из-за чего по волокну распространяется несколько типов волн (мод). Окна прозрачности кварца, из которого изготовлены световоды, находятся в области длин волн 0,85; 1,3; 1,55 мкм, а стандартные диаметры сердцевины многомодовых волокон составляют 50 и 62,5 мкм. У одномодового волокна диаметр сердцевины находится обычно в пределах 5°–10 мкм (известная телефонная компания США AT&T, например, приняла за стандарт диаметр 8,3 мкм). Волокно одномодовым называют в соответствии со

сложившейся традицией, т.е. условно: для того, чтобы по волокну передавался только один тип волны (одна мода), размер сердцевины должен быть еще меньше. Световые импульсы образуются при модуляции источника излучения – лазера или светодиода.

Одна жила многомодового оптического волокна способна передавать дискретный сигнал на расстояние до нескольких километров с частотой до 900 МГц. Одномодовое оптическое волокно способно передавать сигнал на расстояние до нескольких десятков километров на частоте до 2 ГГц. Здесь речь идет о передаче сигналов без ретрансляции. Аппаратура для использования многомодового оптического волокна значительно дешевле, чем для одномодового.

Оптические линии в настоящее время считаются одним из наиболее перспективных средств связи и используются в локальных сетях, для организации городских, междугородных каналов, а также для организации мировых СПД.

3.2. Беспроводные каналы

Беспроводные каналы в зависимости от используемого оборудования условно можно разделить на радиоканалы, радиорелейные линии и спутниковые каналы.

Радиоканалы для передачи данных организуются обычно с помощью оборудования, ориентированного на передачу либо телефонных разговоров, либо данных. Правда, существует устойчивая тенденция к размыванию границы между этими двумя классами оборудования. Телефонные радиоканалы организуются чаще всего с помощью радиорелейных линий (топология «точка – точка») и радиосот для мобильной связи. В радиоканалах компьютерных сетей применяется, как правило, технология RadioEthernet.

Радиорелейные линии широко применяются для создания протяженных на большие расстояния телефонных каналов. Использование радиорелейного канала для передачи данных представлено на рис. 3.4. Радиорелейные линии служат для организации широкополосных каналов межстанционной связи на расстояния от 5 до 70 км без ретрансляции и до 500 км с ретрансляцией. Для ретрансляции используются спутники. Ширина полосы пропускания 2 – 34 МГц. Ограничения на расстояния между радиорелейными вышками связаны с кривизной поверхности Земли. Радиорелейная связь требует наличие прямой видимости.

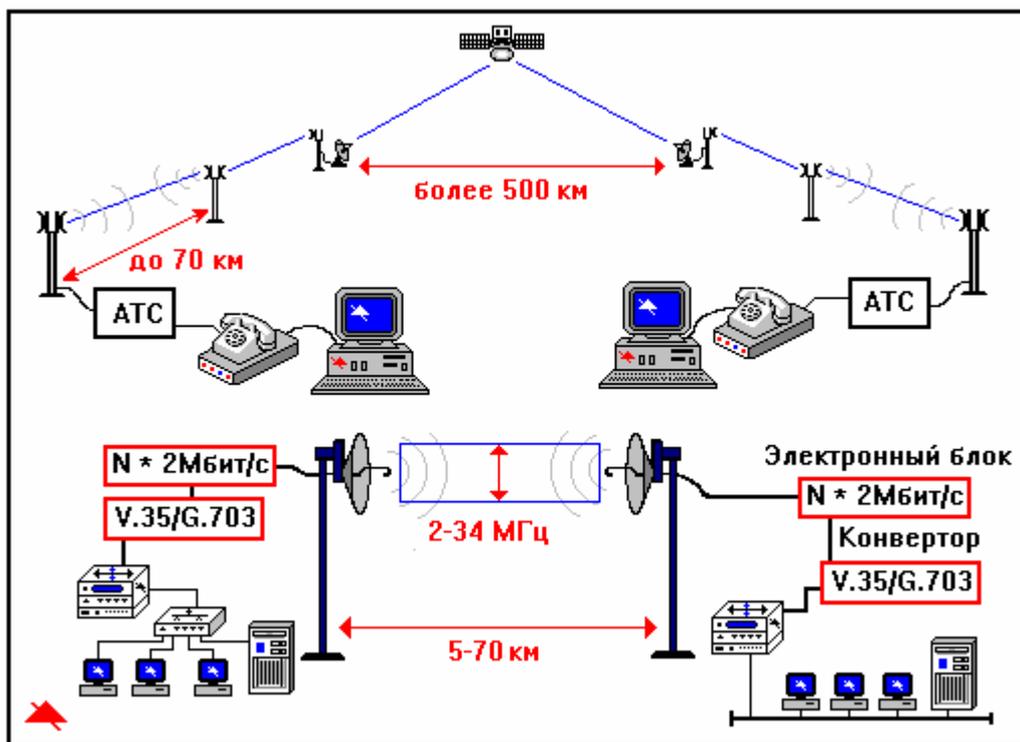


Рис. 3.4. Организация радиорелейного канала

Спутниковый канал. Для реализации спутниковой связи используются обычно геостационарные спутники, имеющие определенную зону видимости.

Спутниковый канал способен передавать сигналы (аналоговые и дискретные) в полосе пропускания до нескольких ГГц. Например, в С-диапазоне (4 – 6 ГГц) или в КУ-диапазоне (11 – 14 ГГц).

Аренда спутникового канала стоит дорого. Поэтому, начиная с 1996 г, все большую популярность в мире завоевывает технология асимметричного доступа к Internet, суть которой заключается в том, что запросы от пользователя передаются по относительно медленным наземным каналам связи, а информация к пользователю доставляется по высокоскоростному спутниковому каналу.

4. ПРИНЦИПЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

По одной высокочастотной физической линии можно передавать одновременно, например, тысячи телефонных разговоров. Для этого высокочастотный канал разбивается на относительно медленные подканалы. Эта процедура называется разделением, уплотнением канала. Различают частотное и временное разделение канала.

4.1. Частотное разделение канала

Как уже отмечалось, реальный сложный сигнал содержит множество частотных составляющих. Суть частотного разделения заключается в выделении для каждого подканала своей полосы пропускания таким образом, чтобы они не мешали друг другу. Спектр такого многоканального канала показан на рис. 4.1.

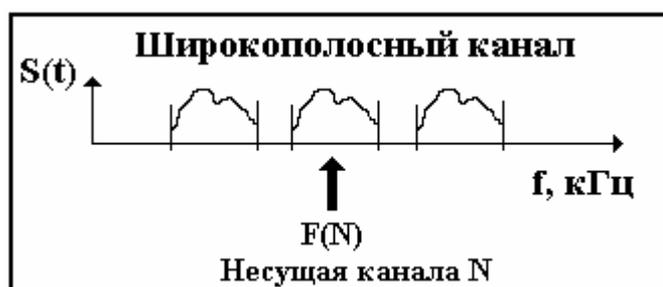


Рис. 4.1. Спектр широкополосного канала

Процессу формирования широкополосного канала посредством помещения исходных сигналов в разные частотные диапазоны можно дать следующую математическую интерпретацию [1]. Предположим, первичный сигнал и несущая являются гармоническими колебаниями и записываются в виде

$$v(t) = V \cos \omega t; s(t) = S \cos \lambda t,$$

где $v(t)$ — сигнал несущей; $s(t)$ — первичный (информационный) сигнал. Частота несущей больше частоты первичного сигнала. Для простоты математических выводов фазу опускаем как у первичного сигнала, так и у несущей. Предположим, для переноса исходного сигнала в другой частотный диапазон используем амплитудную модуляцию. Тогда сигнал, получаемый после изменения амплитуды

несущей с помощью прибавления к ней исходного сигнала, можно представить в виде

$$v(t) = (V + kS \cos \lambda t) \cos \omega t,$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Учитывая четность функции \cos и используя формулу

$$\cos x \cos y = 1/2[\cos(x - y) + \cos(x + y)],$$

получаем

$$v(t) = V \cos \omega t + k(S/2) \cos(\omega + \lambda)t + k(S/2) \cos(\omega - \lambda)t.$$

Эта формула замечательна тем, что показывает спектр результирующего сигнала после использования высокочастотной несущей в качестве модулируемого сигнала. Результирующий сигнал состоит из трех сигналов с частотами $\omega - \lambda$, ω , $\omega + \lambda$. Если исходный сигнал имеет спектр $\Delta\lambda$, то после выполнения операции амплитудной модуляции высокочастотной несущей спектр результирующего сигнала переносится в диапазон $\omega - \Delta\lambda$, $\omega + \Delta\lambda$. Это свойство используется для частотного разделения канала. Между частотными диапазонами вводятся также промежутки, уменьшающие взаимное влияние каналов друг на друга. Частотное уплотнение используется обычно в аналоговых каналах.

4.2. Временное разделение канала

Суть временного разделения канала заключается в периодическом выделении каждому подканалу кванта времени (контейнера) для передачи порции данных. Порция данных может быть разной величины: бит, байт, кадр. Принципы организации подканалов в высокочастотном канале показаны на рис. 4.2.

На рисунке показано, как данные из каналов A и B уплотняются в мультиканале посредством образования в нем подканалов. Каждому подканалу периодически выделяется квант времени (контейнер) для передачи порции данных. В левой части рисунка такой порцией данных является один бит. В правой части порцией данных является группа битов (байт, символ). Если у подканала нет данных, контейнер остается пустым.

Канал может иметь сотни, тысячи подканалов. Например, в канале, имеющем пропускную способность 1 Гбит/с, можно организовать примерно 15000 подканалов по 64 Кбит/с. По такому каналу можно вести одновременно 15000 телефонных разговоров.

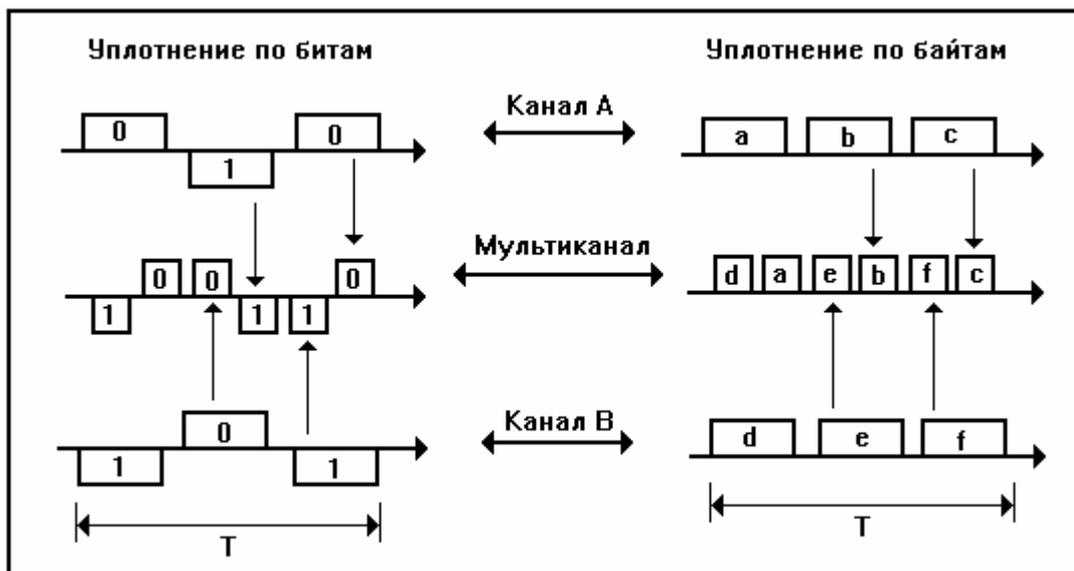


Рис. 4.2. Временное разделение канала

Кроме разделения канала на подканалы существует другой способ обслуживания множества пользователей, заключающийся в организации очередей блоков данных (кадров, пакетов, транспортных блоков) разных пользователей к общему каналу. В этом случае канал используется более эффективно, но время доступа к каналу может изменяться в широких пределах, что неприемлемо, например, для прослушивания музыки, поступающей с удаленного сервера.

4.3. Иерархии цифровых каналов

В основу большинства цифровых иерархий положен канал с пропускной способностью 64 Кбит/с. Следующими популярными иерархическими уровнями являются канал T1 (стандарт США), содержащий 24 стандартных подканала, и канал E1 (европейский стандарт), содержащий 32 стандартных подканала. Способы формирования этих каналов показаны на рис. 4.3, 4.4. Кадр канала T1 содержит по 8 бит для каждого подканала и один служебный бит, всего 193 бита. Кадр канала E1 содержит по 8 бит для каждого из 32 подканалов, всего 256 бит.

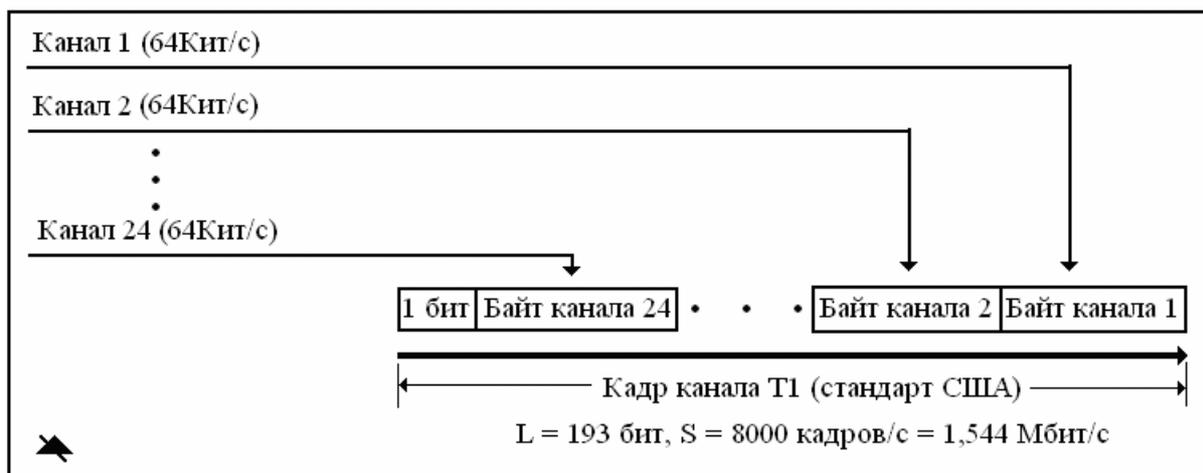


Рис. 4.3. Формирование канала T1

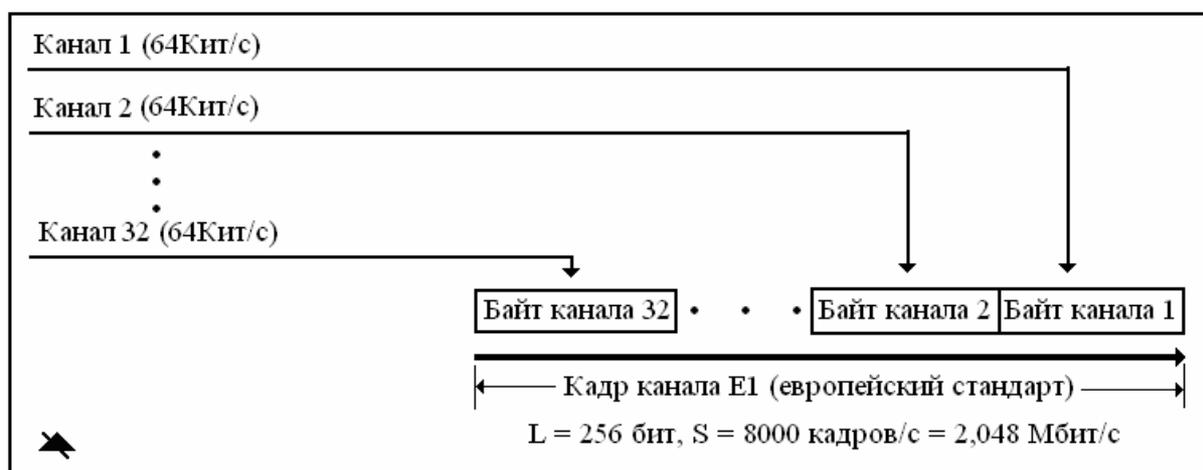


Рис. 4.4. Формирование канала E1

Кадры в каналах T1 и E1 передаются со скоростью 8000 кадров/с (на передачу кадра отводится 125 мкс). Таким образом, суммарная пропускная способность канала T1 равна 1.544 Мбит/с ($193 \cdot 8000$), а канала E1 составляет 2.048 Мбит/с ($256 \cdot 8000$).

Существует множество иерархических построений из стандартных цифровых каналов. На рис. 4.5 приведен пример построения плезиохронной цифровой иерархии.

ИКМ-30 и ИКМ-24 используются для передачи данных между АТС по обычным линиям связи. ИКМ-120 используются для передачи данных по симметричным междугородным кабелям. Для более высоких скоростей используются коаксиальный кабель, оптическое волокно, спутниковые и радиорелейные линии связи.

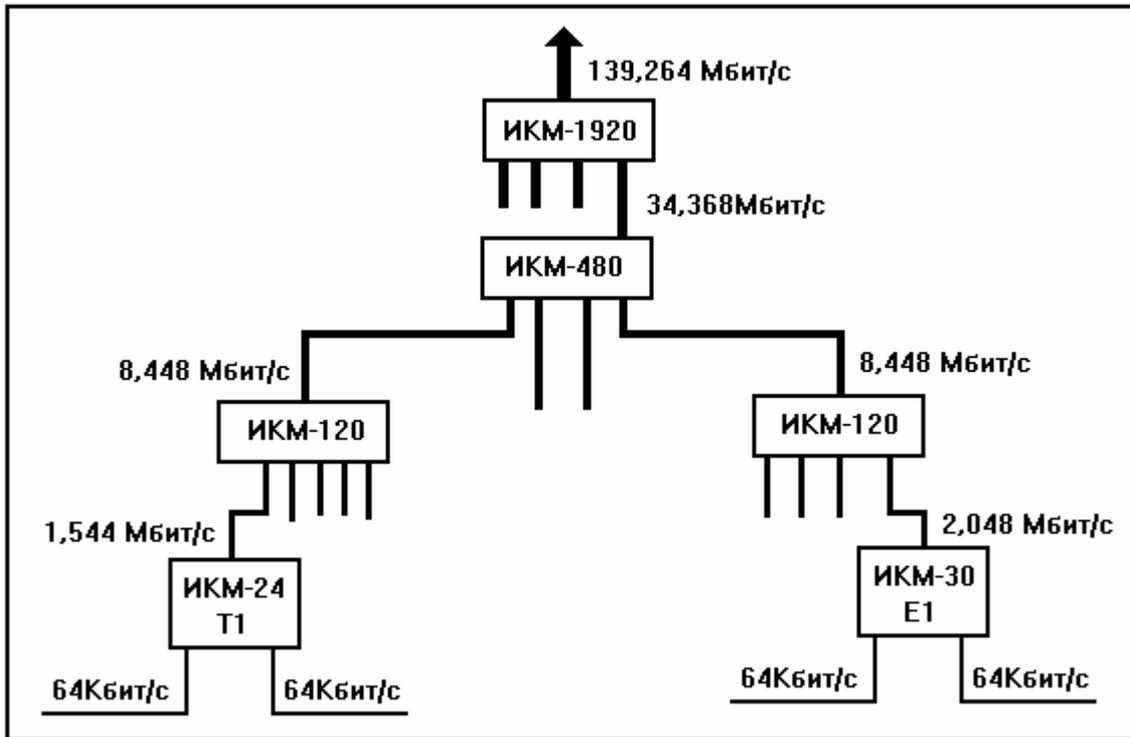


Рис. 4.5. Формирование плезиохронной цифровой иерархии

Возможность разделения канала на подканалы различной пропускной способности создала предпосылки для создания цифровых сетей интегрального обслуживания (ЦСИО), основная идея которых заключается в передаче по единым каналам сигналов различных служб (телефония, радио, телевидение, передача данных).

5. ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗИ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

5.1. Возникновение сетевых стандартов

Часто в литературе эталонную модель взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС) называют моделью OSI (Open Systems Interconnection). Будем оба термина (ЭМВОС и OSI) использовать на равных.

В конце 70-х годов все острее становились проблемы совместимости компьютерных сетей. Решением этих проблем занялись как фирмы-производители компьютерных сетей, сетевого оборудования и сетевого программного обеспечения, так и организации, специализирующиеся в области создания стандартов. Общая схема возникновения стандартов приведена на рис. 5.1.

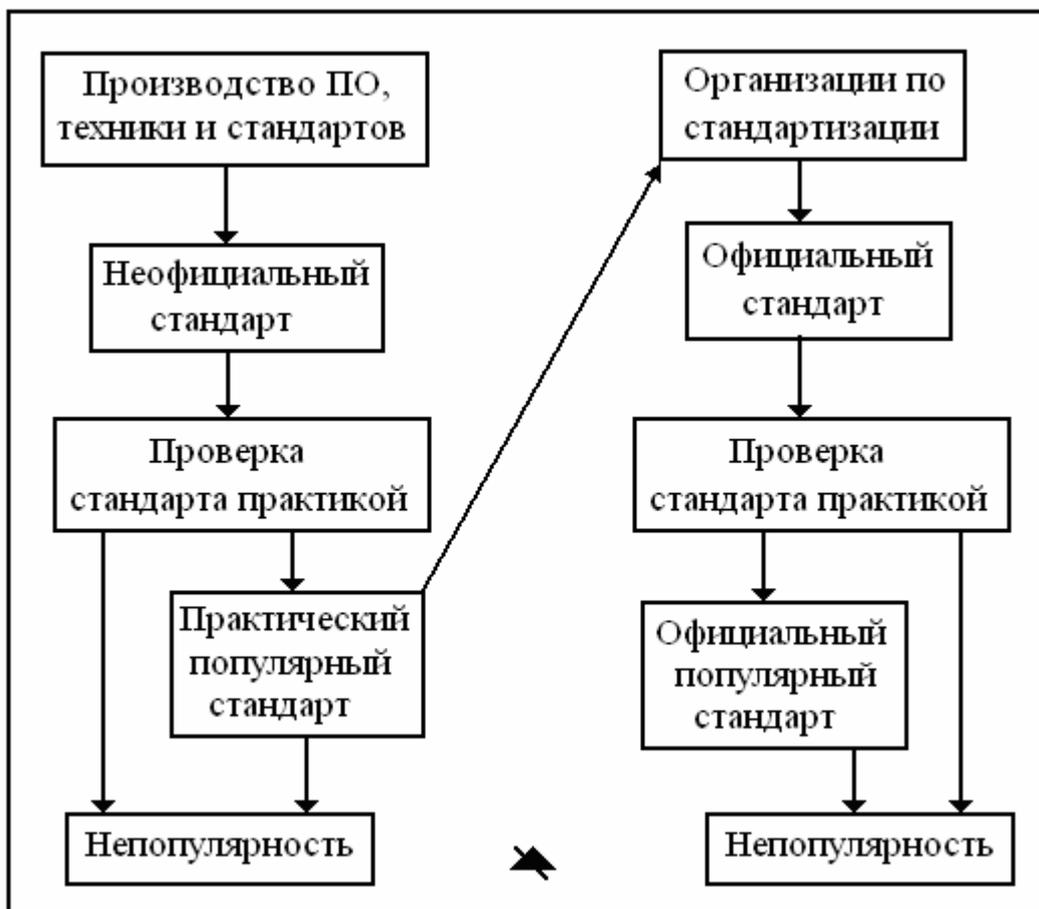


Рис. 5.1. Возникновение стандартов

Стандарты зарождаются либо в процессе создания оборудования и программного обеспечения, либо издаются специальными организациями по стандартизации. Стандарты, созданные в производстве, проверяются практикой их использования и становятся либо популярными, либо непопулярными. Любая серьезная фирма-производитель борется за практическое признание ее стандартов. Например, такие известные фирмы, как Microsoft, IBM, Sun Microsystems, Cisco, являются авторами многих стандартов в области вычислительной техники и средств передачи данных. Организации по стандартизации опираются в своей деятельности на популярные стандарты. Для фирм-производителей официальное признание их стандартов практически означает более прочное положение на рынке оборудования и программных средств. Организации по стандартизации иногда «совершенствуют» популярные практические стандарты. Этот процесс не всегда прибавляет им популярности, иногда убавляет. Иногда организации по стандартизации издадут совершенно непопулярные стандарты. В конечном итоге практически все стандарты стареют и становятся непопулярными.

Основными поставщиками идей, стандартов, методов создания компьютерных сетей в конце 70-х годов были первые сети (ARPA, SITA), производители сетевого оборудования и сетевых технологий (IBM, DEC, Хerox). Используя эти идеи, организации по стандартизации разработали концепции, стандарты, рекомендации по построению компьютерных сетей, объединяемых под названием ЭМВОС.

Наиболее известными организациями по стандартизации в области информатики являются:

ISO – International Organisation for Standardization (Международная организация по стандартизации, МОС). Издает стандарты с начальными буквами ISO (в русскоязычной литературе МОС). Например, стандарт ISO^o7498 определяет основные положения, принципы ЭМВОС.

ССИТТ (МККТТ) – Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии. В дальнейшем получил новое название **ITU-T** – Международный телекоммуникационный союз. Выпускает стандарты серий: V, X, T. Например, стандарт X.200 аналогичен стандарту ISO^o7498, стандарт V.34 регламентирует обмен данными между модемами со скоростями до 32600 бит/с.

ANSI – American National Standards Institute (Американский институт национальных стандартов). Является членом ISO от США. Выпускает стандарты серии ANSI. Наиболее известный стандарт этой организации – семиразрядная система кодировки символов ASCII. Известная («досовская») кодировка фирмы IBM является расширением кодировки ASCII до 8 разрядов, 256 символов.

IEEE – Institute of Electronic and Electrical Engineers (Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике). Профессиональное общество, имеющее свои филиалы во всем мире. Выпускает стандарты серии IEEE. Работает преимущественно в области стандартизации локальных сетей. Например, серия стандартов IEEE 802.3 регламентирует доступ к физической среде по технологии Ethernet.

EIA – Electronic Industries Association (Ассоциация электронной промышленности). Американская коммерческая организация. Наиболее известный ее стандарт **RS-232C**.

5.2. Принципы и примеры многоуровневого взаимодействия

Прежде, чем перейти к ЭМВОС, рассмотрим принципы многоуровневого взаимодействия на примере человеческого общения. В процессе общения людей можно выделить функциональные уровни. Разложение на уровни взаимодействия людей приведено на рис. 5.2.

В общем случае в процессе разговора человек интуитивные образы, ощущения, неясные мысли превращает в более строгие понятия, облакает понятия в слова, слова представляет звуками или буквами, преобразует звуки в звуковые колебания. Звуковые колебания воспринимаются другим человеком, превращаются в слова (если разговор идет на одном языке), слова превращаются в понятия (если слушающему удастся понять говорящего), затем понятия могут быть использованы для построения интуитивного, психологического, бессознательного мира слушающего. В этом случае можно говорить о взаимодействии на уровне интуиции, на уровне взаимопонимания, на уровне языка, отдельных слов, на уровне жестов и звуков, на уровне звуковых колебаний. Часто в процессе взаимодействия задействованы не все уровни. Можно слышать, видеть, понимать жесты, но не понимать слов. Можно понимать отдельные слова, но не понимать

смысла фразы (уровень попугая, уровень зубрежки). Возможно (но затруднено) взаимопонимание на верхних уровнях без слов.

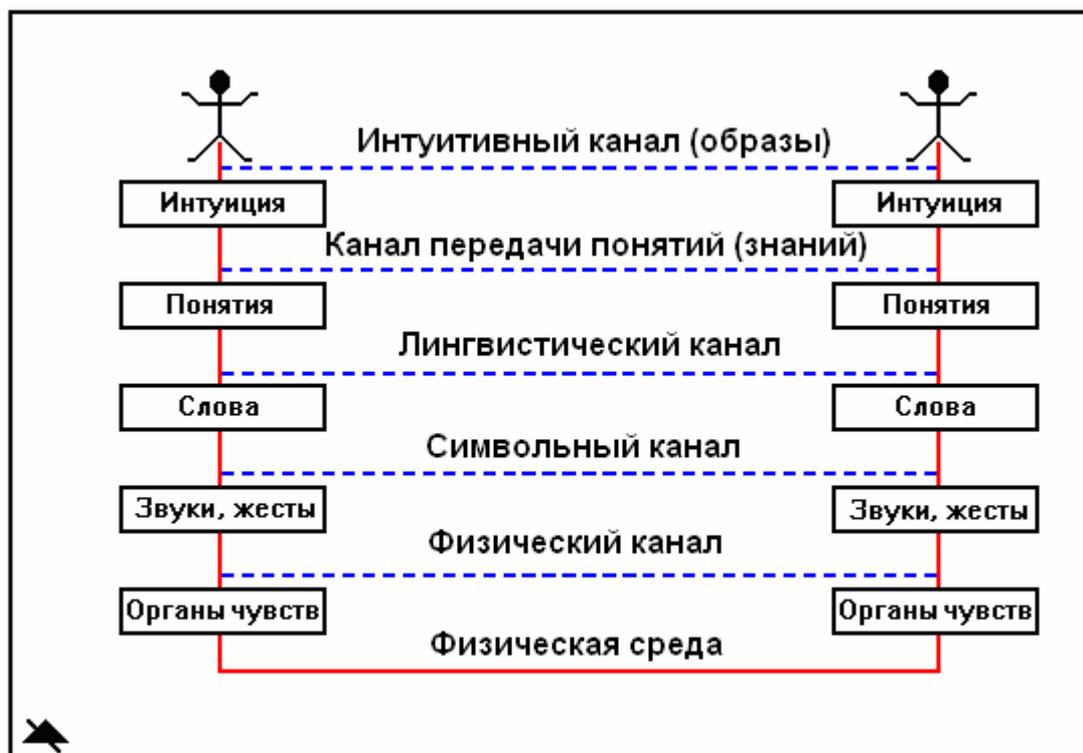


Рис. 5.2. Многоуровневое взаимодействие людей

Приведенная модель может описывать не только процесс разговора, но и другие взаимодействия (музыка, тепло, запахи). В этом случае физической средой для построения **физического канала** могут служить звуковые (механические) колебания, электромагнитные волны, молекулы (запах, тепло), телефонная, компьютерная сеть. **Органы чувств** позволяют осуществлять преобразования воздействий внешней среды в звуки, зрительные образы, ощущения, а также производить обратные преобразования. Верхнему уровню уровень органов чувств предоставляет физический канал для переноса звуков, образов, запахов, тепла. Благодаря этому уровню мы имеем зрение, слух, обоняние, осязание. Взаимодействие на **уровне звуков, жестов**, образов, запахов, мимики характерно для животного мира. На этом уровне для взаимопонимания необходимо договориться о том, что означает каждый звук, жест, зрительный образ, буква, элемент иероглифа. Верхнему уровню он предоставляет алфавиты, наборы символов, наборы образов, имеющих какой-то

смысл, в отличие от полного набора звуков, которые могут переноситься на физическом уровне.

Уровень слов можно понимать широко, если словом считать набор заранее определенных символов. Тогда словами могут быть фрагменты музыки, картины, специально сконструированные образы. Соответственно возможно общение на языке слов, музыки, образов, специальных символов. Верхнему уровню в этом случае предоставляется широко понимаемый лингвистический (языковой) канал (например, толковый словарь, словарь иностранных языков). Слова превращаются в **понятия**, если слушающий понимает говорящего. Задача преподавателя – общение со студентами на уровне понятий. Студенты часто пытаются сдать экзамен на уровне слов, используя шпаргалки, не понимая смысла, заложенного в словах. На уровне понятий формируются знания, кругозор.

Не всегда понятия удастся превратить в слова. Высшим уровнем является взаимодействие на **интуитивном**, психологическом уровне. Достигается это при очень высоком уровне взаимопонимания. Интуиция развивается в процессе воспитания, обучения, жизни. Большинство решений человек принимает на интуитивном уровне.

Главное, что нужно понять из приведенной модели взаимодействия:

- возможно взаимодействие систем на разных уровнях;
- взаимодействие объектов одного уровня является виртуальным, физически происходящим через нижние уровни;
- некоторые уровни могут отсутствовать;
- нижний уровень предоставляет сервис верхнему уровню;
- основным видом сервиса является виртуальный канал;
- существуют вертикальные и горизонтальные взаимодействия;
- для реализации взаимодействий по вертикали горизонтали должны быть установлены определенные правила.

5.3. Структура ЭМВОС

Стандарты на ЭМВОС были разработаны и опубликованы ISO (МОС) и ССИТТ (МККТТ) в начале 80-х годов. Ее структура приведена на рис. 5.3.

Ниже физического уровня располагается физическая среда (нулевой уровень). Основным ее назначением является перенос данных физического уровня. К физической среде относятся кабели,

линии связи (витая пара, оптическое волокно, коаксиальный кабель, радиоканал, спутниковый канал).

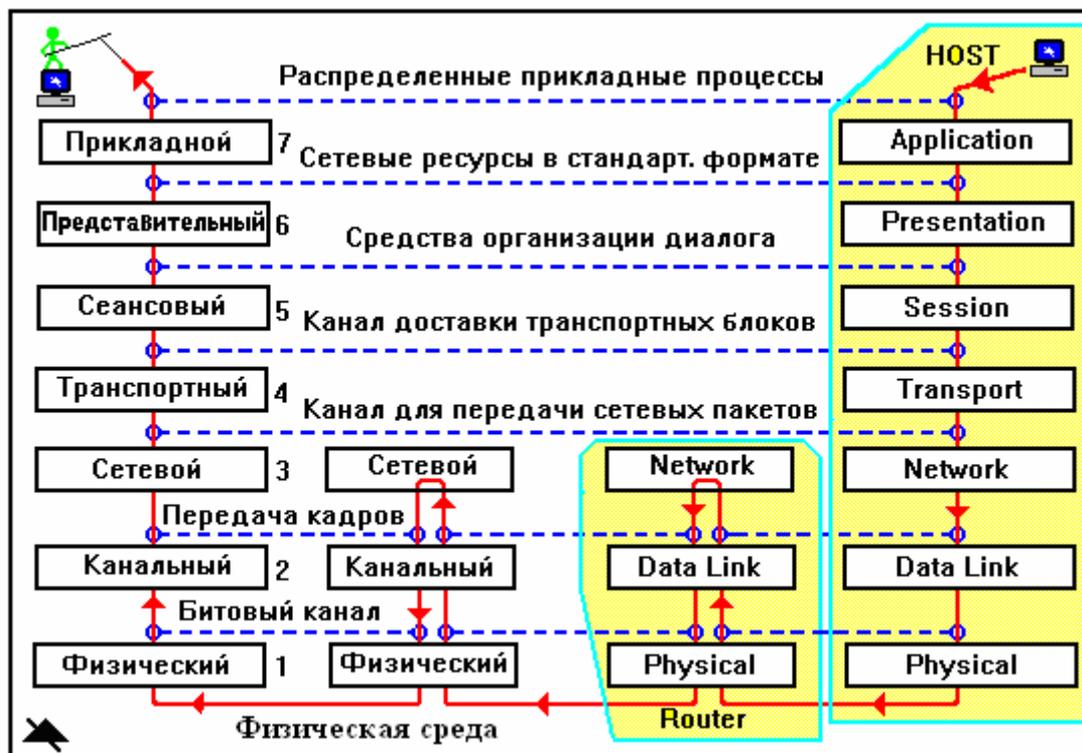


Рис. 5.3. Структура ЭМВОС (OSI)

Основным назначением **физического уровня** является сопряжение с физической средой и предоставление каналному уровню физического канала для передачи битов. Примерами сопряжения (интерфейса) с физической средой являются порты компьютера (COM, USB), разъемы (RJ-45). На физическом уровне определяются механические, электрические, функциональные характеристики интерфейсов.

Основным назначением **канального уровня** является надежная передача группы битов, называемых обычно кадрами, между узлами, непосредственно связанными физическими каналами. Иногда блоки данных канального уровня называют пакетами. Однако это название лучше зарезервировать для сетевого уровня. Таким образом, канальный уровень предоставляет сетевому уровню контейнеры (кадры) для надежной передачи пакетов между узлами, связанными физическим каналом. Функции физического и канального уровней в локальных сетях выполняют сетевые платы. Первые модемы выполняли только функции физического уровня. Современные

модемы, реализуя протоколы передачи данных с коррекцией ошибок, стали выполнять и функции канального уровня.

Основными функциями **сетевого уровня** являются:

– передача пакетов между узлами, не связанными непосредственно физическими каналами (передача с ретрансляцией на сетевом уровне);

– выбор маршрутов для передачи данных.

Верхнему уровню сетевой уровень предоставляет виртуальный канал для передачи пакетов между любой парой узлов сети, независимо от наличия физической связи между ними. Маршрутизаторы как устройства реализуют функции нижних трех уровней. Если маршрутизация осуществляется программно, то программа маршрутизации выполняет функции третьего уровня. Кроме того, современные маршрутизаторы реализуют функции шлюзов, соединяющих сети, использующие разные протоколы. Примерами реализации функций сетевого уровня являются протоколы X.25, IP.

Транспортный уровень занимается передачей транспортных блоков между узлом-источником данных и узлом-адресатом. Транспортные блоки обычно являются более крупными порциями битов, чем пакеты. Поэтому они разбиваются на пакеты при передаче на сетевой уровень. На транспортном уровне решается ряд задач, не решенных на нижних уровнях – надежность передачи, управление потоком данных. Верхнему уровню транспортный уровень предоставляет виртуальное транспортное соединение для надежной передачи транспортных блоков. Типичным представителем транспортного уровня является популярный в сети Internet протокол TCP.

Сеансовый уровень (уровень сессий) предназначен для синхронизации обмена данными на уровне крупных порций информации, для организации диалога. Верхнему уровню он предоставляет средства организации сетевого диалога, сеанса связи.

Представительный уровень отвечает за представление сетевых услуг прикладному уровню в стандартной форме. К представительному уровню относятся понятия виртуального терминала, виртуального диска, виртуального файла.

На **прикладном уровне** реализуются сетевые приложения, а также функции, не реализованные по каким-то причинам на нижнем уровне. Функции прикладного уровня реализуются в

пользовательских сетевых программах, приложениях. Как правило, сетевые программы (например, Internet Explorer) реализуют функции верхних трех уровней.

На рис. 5.3 изображены два пользовательских компьютера, в которых реализованы функции всех семи уровней, а также два промежуточных сетевых узла (например, маршрутизаторы), в которых реализованы только функции нижних трех уровней. Физически данные передаются сверху вниз на стадии передачи и снизу вверх при приеме. Штриховыми линиями показаны виртуальные взаимодействия.

Обычно функции нижних уровней (до третьего) реализуются аппаратно, а верхних – программно. Чем ниже уровень, тем выше уровень стандартизации. Реальное устройство или программа могут реализовывать функции разных уровней. Иногда на верхних уровнях реализуются функции нижних уровней. Реальные системы поддерживают разные подмножества функций уровней.

5.4. Общая структура уровня

Уровень – модуль, выполняющий определенные функции, предоставляющий сервис более высокому уровню. Для выполнения своих функций модуль использует сервис, предоставляемый ему нижним уровнем. Модуль представляет собой совокупность **равноуровневых абстрактных объектов**. Эти абстрактные объекты являются моделями, обобщениями функций, выполняемых реальными объектами. На рис. 5.4 представлены основные логические объекты уровней и процедуры их взаимодействия.

SU – service user, пользователь сервиса. Уровень может иметь несколько пользователей сервиса, предоставляемого нижним уровнем. Телефоном могут пользоваться разные люди, протокол TCP может использоваться разными службами.

SAP – service access point, точка доступа к сервису. Точка, в которой объекты нижнего уровня предоставляют сервис объектам верхнего уровня. Уровень может иметь несколько SAP. В качестве SAP могут выступать метки, адреса портов ввода-вывода.

SP – service provider, поставщик сервиса. Абстрактное представление совокупности логических объектов уровня, поставляющих сервис уровня. Уровень может иметь несколько

поставщиков сервиса. Поставщиками сервиса могут быть протоколы, устройства (сетевая плата).

IDU – interface data unit, интерфейсный блок данных. Блок данных, передаваемый через SAP при взаимодействии объектов смежных уровней.

PDU – protocol data unit, протокольный блок данных. Блок данных, используемый для горизонтального взаимодействия одноуровневых объектов. На канальном уровне PDU будем называть кадром, на сетевом – пакетом, на транспортном – транспортным блоком.

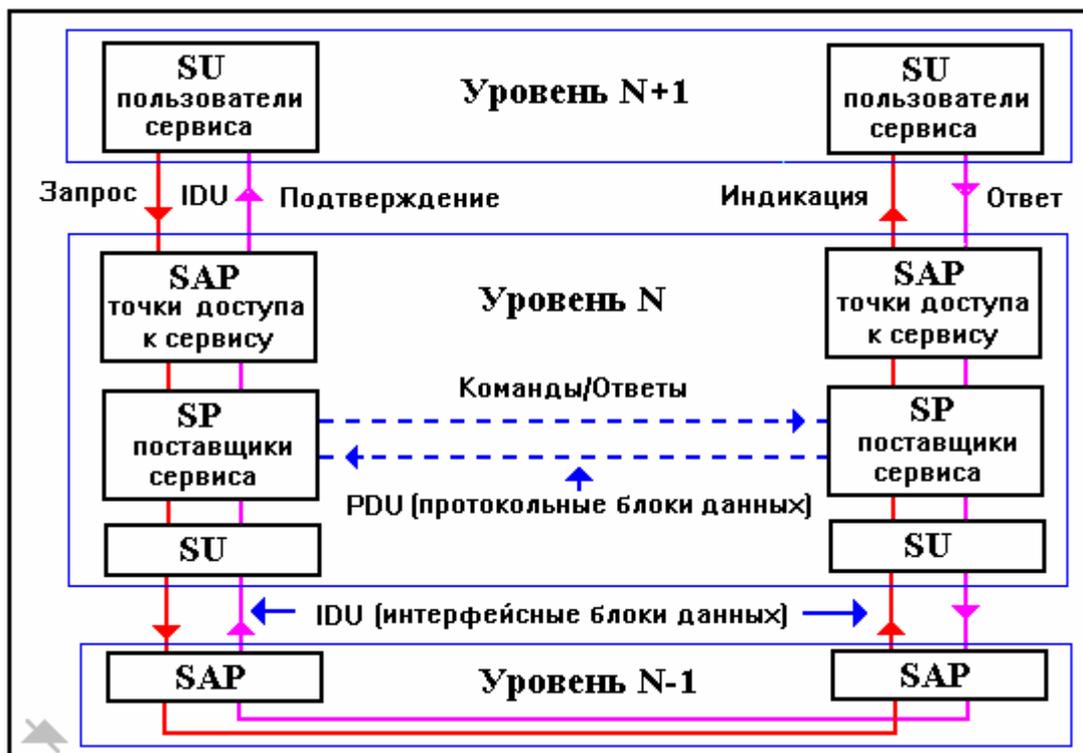


Рис. 5.4. Взаимодействие объектов уровней

Горизонтальное взаимодействие одноуровневых объектов обычно происходит либо в режиме с **предварительным установлением соединения**, либо в режиме **без предварительного установления соединения**.

В первом режиме выделяют три этапа взаимодействия:

1. Установление связи между удаленными объектами.
2. Передача данных.
3. Ликвидация соединения.

Аналогом такой процедуры является телефонный разговор по коммутируемой линии, которую необходимо соединить до начала разговора.

Во втором режиме первый и третий этапы отсутствуют. Передача данных осуществляется без предварительной договоренности. Реальная передача данных может сочетать в себе разные режимы. Например, на нижних уровнях передача может происходить во втором режиме (выделенный канал, Ethernet), а на верхних уровнях в то же время может использоваться процедура предварительного установления соединения.

Для реализации горизонтальных взаимодействий используются примитивы четырех типов:

– **запрос** – примитив, используемый пользователем сервиса для вызова некоторой функции. Аналогом могут служить сигналы набора номера;

– **индикация** – примитив, используемый поставщиком сервиса для вызова функции верхнего уровня и для уведомления о том, что функция данного поставщика была вызвана в некоторой SAP. Аналогом могут служить сигналы, инициирующие телефонный звонок у вызываемого абонента;

– **ответ** – примитив, используемый пользователем сервиса для завершения функции, ранее вызванной индикацией. Аналогом могут служить сигналы, посылаемые в линию вызываемым аппаратом (в случае его занятости, снятия трубки или при отсутствии абонента);

– **подтверждение** – примитив, используемый поставщиком сервиса для завершения функции, ранее вызванной запросом в данной SAP. Аналогом могут служить длинные или короткие гудки после поднятия трубки или после набора номера.

Примитивы могут нести дополнительную информацию, указывающую параметры запрашиваемых услуг или сообщающую результаты выполнения запрошенных функций.

5.5. Структуры данных

На рис. 5.5 показаны процедуры изменения структур данных при передаче их по вертикали и горизонтали.

Поток данных с уровня, обозначенного Н3, поступает через интерфейс в точку доступа (SAP) уровня Н2. Уже на уровне Н3 в

потоке данных есть информация пользователя (ABCDEF) и служебная информация уровня Н3 (заголовки блоков данных Н3).

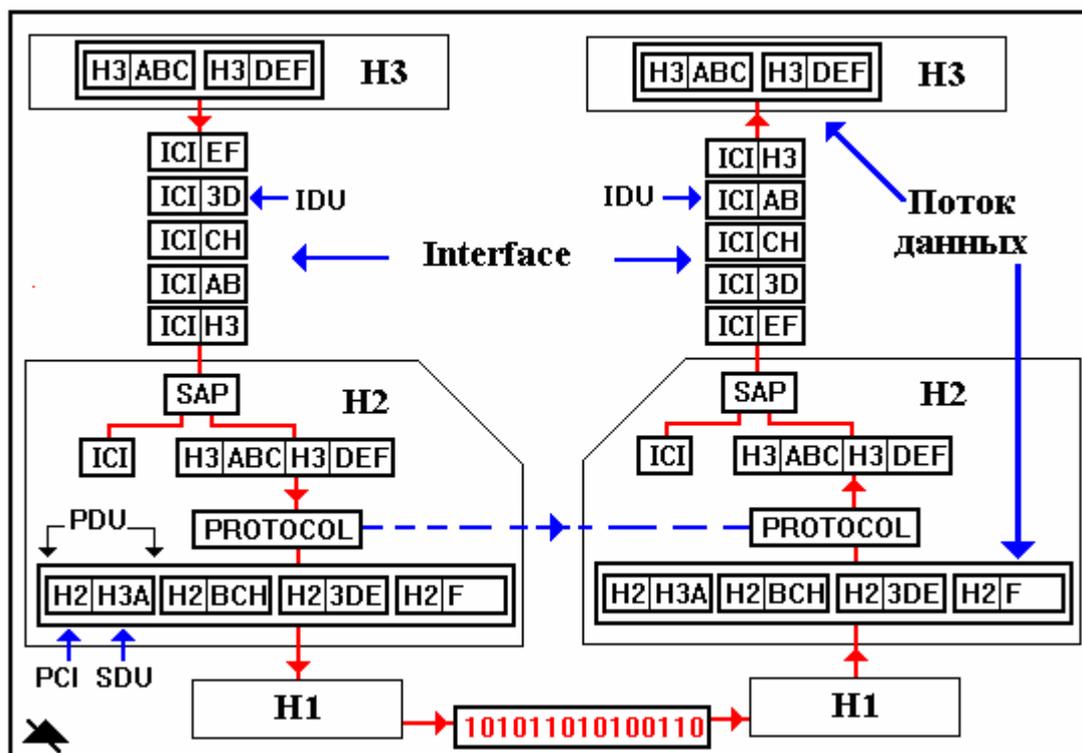


Рис. 5.5. Структуры данных

При передаче в SAP поток данных должен быть представлен в соответствии с требованиями интерфейса в виде стандартных блоков IDU, содержащих данные верхнего уровня и управляющую информацию интерфейса ICI (interface control information). После поступления на уровень H2 блоки ICI отделяются от данных верхнего уровня и обрабатываются. Начинает функционировать протокол, создающий PDU, содержащие управляющую информацию протокола PCI (protocol control information) и данные пользователя сервиса (верхнего уровня), переносимые без изменений в сервисных блоках данных SDU (service data unit). На рис. 5.5 PCI уровня H2 обозначены как H2. Иногда PDU может содержать только служебную информацию. С помощью PDU одноуровневые объекты осуществляют виртуальное горизонтальное взаимодействие. Реальный поток информации идет через нижние уровни. Протокол на приемной стороне принимает PDU, обрабатывает PCI, убирает их из потока данных. Затем идет формирование IDU и передача их на

верхний уровень. В итоге уровень N3 приемника получает предназначенный ему поток данных.

Для понимания механизмов OSI необходимо помнить, что они являются **абстрактным**, не зависящим от конкретной реализации представлением реальных процессов компьютерных сетей. Одним из лучших упражнений для понимания OSI является сопоставление реальных объектов и абстрактных. При этом приходится решать следующие проблемы:

- знание функций OSI;
- знание функций конкретной реализации;
- несоответствие классификации реальности.

Последняя проблема часто бывает неразрешима.

Реализация всех рекомендаций OSI является экономически нецелесообразной. Поэтому OSI иногда называют моделью несуществующих систем. Однако рекомендации OSI имеются в виду и реально используются всеми производителями сетевого оборудования и программного обеспечения. Именно благодаря семиуровневой модели стандартизация в компьютерных сетях достигла высокого уровня. OSI является хорошей основой для классификации знаний, информации о компьютерных сетях.

Разные крупные производители имеют свое мнение по поводу взаимодействия открытых систем. Рассмотрим архитектуру ARPANET. Эта архитектура сети ARPA, ставшей основой для создания как Internet, так и самой семиуровневой модели OSI. При построении сети ARPA были созданы и апробированы протоколы TCP/IP.

На двух нижних уровнях ARPANET и OSI совпадают. На третьем уровне в ARPANET выделяют подуровни: межсетевой и сетевой. Протокол IP относится к межсетевому подуровню. Его основным назначением является объединение разнородных сетей, независимо от используемых протоколов нижних уровней. На четвертом уровне ARPANET и OSI совпадают. Функции этого уровня выполняет протокол TCP. Пятому и шестому уровням OSI соответствует утилитарный уровень ARPANET. К этому уровню относятся протоколы FTP, Telnet, HTTP и др. Самым высоким уровнем и в ARPANET и в OSI является прикладной.

Здесь просматривается общая тенденция – чем ниже уровень, тем выше уровень стандартизации. Поэтому функции нижних уровней реализуют в основном аппаратно, а верхних – программно.

6. НИЖНИЕ УРОВНИ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

6.1. Разделяемые ресурсы и методы доступа к ним

Локальные сети (LAN – Local Area Network) расположены обычно на относительно небольших территориях (в пределах зданий, территории небольших предприятий). Малые расстояния позволяют использовать небольшое количество высокочастотного кабеля для организации связи между пользователями сети. Основные принципы построения физической среды для локальных сетей заключаются в использовании высокоскоростного канала, разделяемого многими пользователями. Такая технология требует организации процедур доступа к каналу.

На бытовом уровне используются разные дисциплины обслуживания клиентов с помощью дефицитного, разделяемого ресурса (касса, парикмахерская, кабинет врача – ресурсы, разделяемые многими пользователями). К таким ресурсам чаще всего реализуется случайный доступ. Клиенты приходят тогда, когда им надо, независимо друг от друга. Когда клиентов становится слишком много, они все чаще попадают в очередь. Дисциплины организации очереди могут быть разные. Теоретическими проблемами организации обслуживания занимается математическая дисциплина «Теория массового обслуживания» (теория очередей). Например, на рис. 6.1 приведена зависимость среднего времени обслуживания заявки в системе М/М/1 от коэффициента загрузки прибора. В системе М/М/1 время между поступлением заявок и время обслуживания распределены экспоненциально (пуассоновский поток случайных событий на входе и выходе системы).

Приведенный на рис. 6.1 график говорит о том, что в системах со случайным доступом загрузка устройств более, чем на 50%, нежелательна, т.к. приводит к резкому росту очередей, времени обслуживания. Часто для снижения времени обслуживания применяют методы детерминированного доступа, когда клиентам назначают каким-либо способом момент времени начала обслуживания. Таким образом, случайные методы доступа привлекательны простотой организации, а детерминированные имеют достоинства, связанные с уменьшением времени ожидания начала обслуживания и увеличением пропускной способности обслуживающего прибора (ресурса).

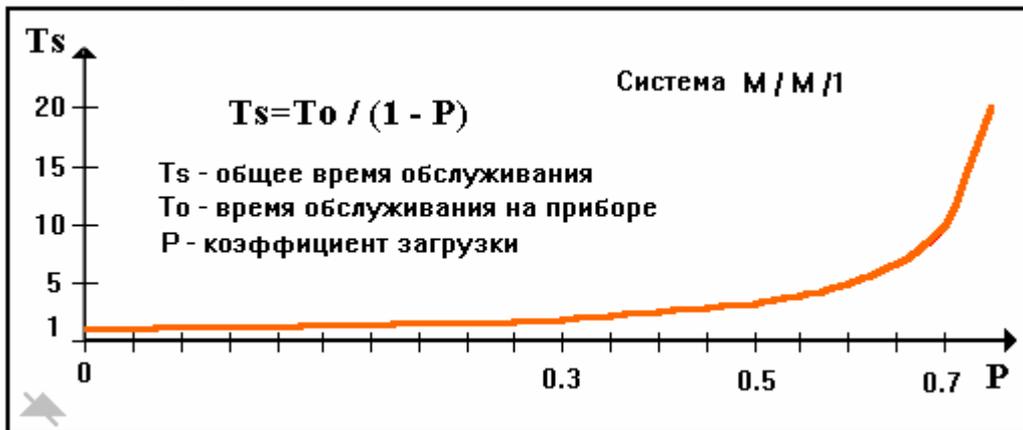


Рис. 6.1. Зависимость времени обслуживания от коэффициента загрузки

6.2. Методы доступа локальных сетей

Методы доступа к каналу в локальных сетях различаются способами определения момента начала передачи данных (опрос, передача маркера, тактирование канала, случайный доступ), параметрами запросов, учитываемыми при организации очередности передачи (приоритет, время поступления запроса, тип запроса), дисциплинами организации очередей. В настоящее время известны десятки методов использования моноканала, различным образом сочетающие в себе перечисленные свойства. Рассмотрим методы, имеющие наибольшую популярность. Они представлены на рис. 6.2.

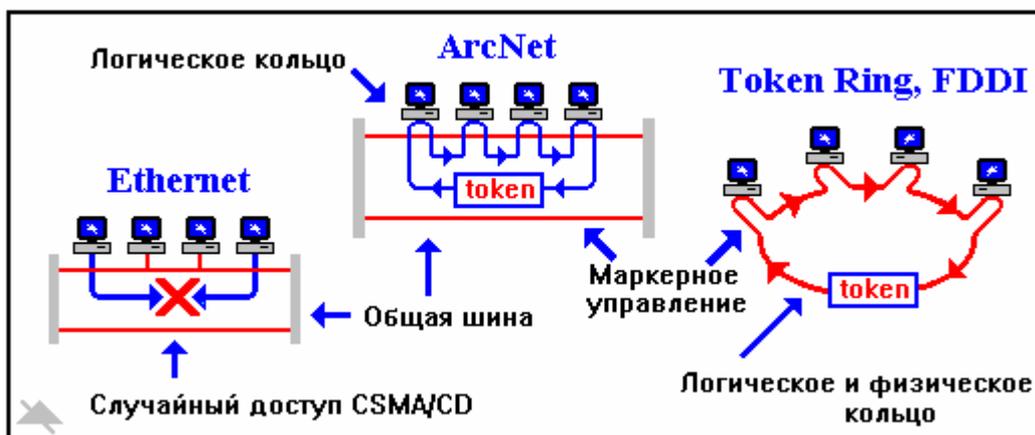


Рис. 6.2. Популярные методы доступа

Среда **ArcNet** (Attached resource computer Network) была разработана Datarpoint Corporation в 1977 г. Первые платы ArcNet были выпущены в 1983 г. Это простая, гибкая, недорогая сетевая архитектура для сетей масштаба группы. Организует логическое кольцо, используя общую шину. По логическому кольцу передается маркер. Устройство, получившее маркер, имеет право на передачу порции данных в канал. Стандартный кадр ArcNet может содержать до 508 байтов данных. В ArcNet Plus эта величина увеличена до 4096 байтов. Принимает данные то устройство, чей адрес указан в блоке данных. Каждому подключенному устройству присваивается номер. Последовательность обхода маркера определяется номерами устройств. Внешне может выглядеть как звезда и как общая шина. В первом случае общая шина реализуется внутри концентратора.

Технология **Token Ring** (маркерное кольцо) основана на передаче маркера по **физическому кольцу**. Она была запатентована в 1981 г. Маркер содержит три байта. **Устройство, владеющее маркером, имеет право передать кадр**. Передаваемый кадр добавляется (цепляется) к маркеру. В более поздних версиях к маркеру могут подцепить свои кадры несколько станций. Величина кадра практически не ограничена. В кадре указываются адреса передатчика и приемника. Кадр принимает то устройство, которому он адресован. После принятия кадра устройство делает в нем пометку о приеме и отправляет с маркером дальше по кольцу. Передатчик, получив свой кадр, удаляет его из кольца. Внешне Token Ring может выглядеть как кольцо или как звезда. В последнем случае кольцо должно быть реализовано внутри концентратора. Достоинством технологии Token Ring является большая устойчивость к высоким нагрузкам на канал, относительно стабильное время доступа к каналу. Недостатками являются повышенная сложность и стоимость. Технология **FDDI** является развитием Token Ring применительно к оптоволоконному кольцу.

Технология **Ethernet** основана на методе доступа **CSMA/CD** (carrier sense multiple access with collision detection – множественный доступ с контролем несущей и **обнаружением конфликтов**). Ее прообразом явилась технология пакетной радиосети ALOHA. Первые сети Ethernet были выпущены фирмой Xerox в 1975 г. Сеть Ethernet использует магистральный высокоскоростной моноканал, организованный в виде общей шины. Каждая станция, имеющая данные для передачи, отслеживает состояние канала (прослушивает

канал). Если канал свободен, станция передает кадр в канал. Если одновременно две станции начали передачу кадра в канал, происходит столкновение передач (конфликт, коллизия). В этом случае на каждой станции случайным образом разыгрывается интервал времени, через который она сможет начать передачу. С большой вероятностью этот интервал времени будет разным у всех конфликтующих станций. Поэтому одна из них начнет передачу первой. Внешне Ethernet может выглядеть как общая шина или звезда. В последнем случае общая шина реализуется внутри концентратора. Обычные скорости передачи – 10 и 100 Мбит/с. Основные достоинства Ethernet связаны с благоприятным соотношением параметров цена/производительность. Основной недостаток заключается в резком увеличении времени доступа к каналу и снижении производительности канала при превышении 50% рубежа загрузки.

Одной из разновидностей метода случайного доступа к общей шине является метод **CSMA/CA** (carrier sense multiple access with collision avoid – множественный доступ с контролем несущей и **предотвращением конфликтов**). При этом способе станция прежде, чем передать данные, оповещает о своих намерениях другие станции. При этом методе увеличивается объем передаваемых служебных сообщений, но предотвращается столкновение информационных кадров, что позволяет увеличить расстояния между станциями. Этот метод используется в RadioEthernet.

Приоритетный доступ. При этом способе концентратор, получив одновременно два запроса, отдает предпочтение тому, который имеет более высокий приоритет.

100VG (Voice Grade) AnyLan. Эта технология основана на технологии 100BaseVG, разработанной фирмой Hewlett-Packard на основе Ethernet. Фактически объединяет в себе стандарты и идеи Ethernet (IEEE 802.3) и Token Ring (IEEE 802.5). Разрабатывается в рамках стандарта IEEE 802.12. Использует общую шину. Технология доступа реализуется в виде системы с опросом. Интеллектуальный концентратор (hub, центр звезды) опрашивает подключенные к нему узлы. Узлу, выставившему запрос на передачу, разрешается передача данных. При наличии запросов от нескольких узлов очередность передачи определяется в соответствии с их приоритетами. Возможность приоритетного доступа к каналу связи является одним из главных достоинств технологии 100VG AnyLan.

Реализация методов доступа в локальных сетях осуществляется сетевыми адаптерами (сетевыми платами).

6.3. Основные стандарты

Соотношение нижних уровней локальных сетей и модели OSI приведено на рис. 6.3.

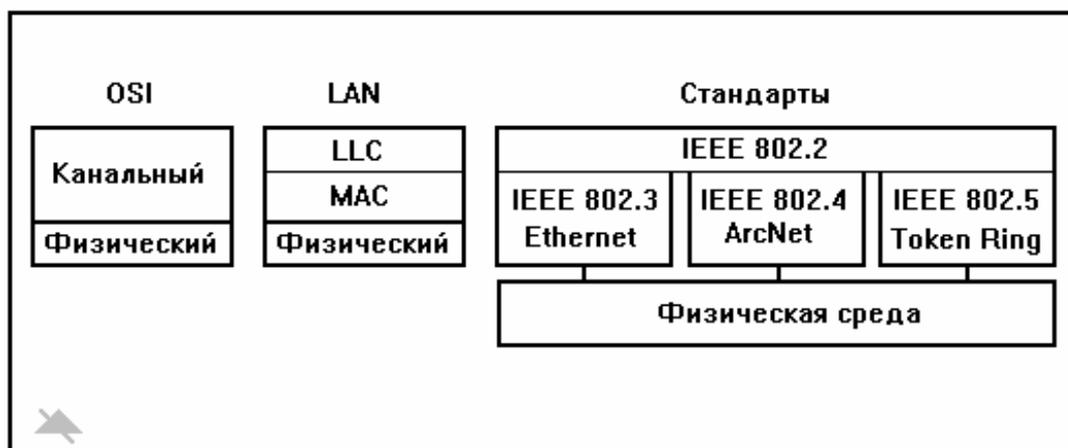


Рис. 6.3. Основные стандарты LAN

Канальный уровень LAN разбивается на два подуровня: LLC (Logical Link Control) – подуровень управления логическим каналом и MAC (Media Access Control) – подуровень доступа к среде.

Основные функции подуровня LLC заключаются в обеспечении единого, независимого от используемого метода доступа интерфейса с верхним уровнем и предоставлении возможности управления передачей кадров на уровне логического канала между передатчиком и приемником (аналогично HDLC).

Основные функции подуровня MAC:

- формирование кадров;
- распознавание кадров, предназначенных конкретной станции на уровне MAC- адресов (адресов сетевых плат);
- обнаружение ошибок;
- реализация алгоритма доступа к среде.

Основные функции физического уровня: кодирование и декодирование данных, создание и удаление преамбул кадров, преобразование двоичного кода в код передачи и обратно, передача битов кадра в физический канал и прием их из канала, согласование

электрических и механических характеристик, физический доступ к среде (для Ethernet – прослушивание шины, обнаружение конфликтов).

В правой части рис. 6.3 приведены основные стандарты LAN.

Стандарт **IEEE 802.2** специфицирует функции подуровня LLC. Необходимо заметить, что этот стандарт един для различных методов доступа.

Деятельность подкомитета **IEEE 802.3** направлена на разработку стандартов по методу CSMA/CD и спецификации физического уровня LAN, использующих этот метод доступа.

Деятельность подкомитета **IEEE 802.4** направлена на разработку стандартов, основанных на передачу полномочий по общей шине, и спецификации физического уровня таких LAN.

Деятельность подкомитета **IEEE 802.5** направлена на разработку стандартов на метод доступа с передачей полномочий по кольцу, физический уровень и способы подключения к физической среде.

Кроме перечисленных стандартов в настоящее время все большую популярность приобретают стандарты серии **IEEE 802.11**, регламентирующие построение беспроводных сетей по технологии RadioEthernet, часто называемой Wi-Fi.

7. НИЖНИЕ УРОВНИ ETHERNET

7.1. Структура физического уровня

Технология Ethernet является в настоящее время наиболее популярной для реализации локальных сетей. Основное ее достоинство состоит в привлекательном для пользователей соотношении параметров стоимости, производительности, надежности, простоты эксплуатации. В качестве физической среды для Ethernet используются:

- тонкий коаксиальный кабель;
- толстый коаксиальный кабель;
- витая пара;
- оптическое волокно;
- радиоканал.

Для каждой среды разработаны свои стандарты физического уровня. Обобщенная структура физического уровня Ethernet приведена на рис. 7.1.

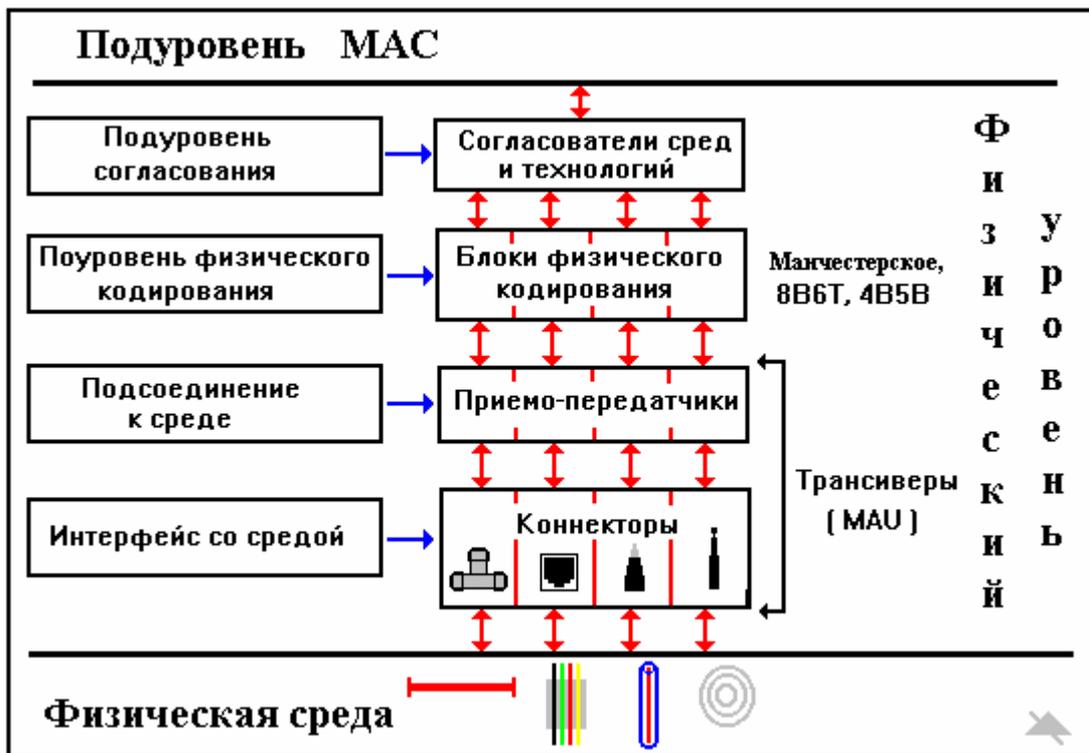


Рис. 7.1. Физический уровень Ethernet

Основным назначением **подуровня согласования** является обеспечение универсального интерфейса между подуровнем МАС и блоками, реализующими взаимодействие с разными физическими средами. Кроме того, этот уровень генерирует/принимает полубайты данных.

Основным назначением **подуровня физического кодирования** является преобразование потока битов в электрические сигналы определенной формы (манчестерский код, 8В6Т, 4В5В). Например, увеличение числа уровней сигнала в 100BaseТ4 позволило увеличить скорость передачи в 2,67 раза.

Подуровень подсоединения к внешней среде (РМА) обеспечивает непосредственную передачу сигналов, их прием, обнаружение конфликтов.

Подуровень интерфейса с внешней средой обеспечивает физическое соединение сетевой платы с внешней средой. Физически этот уровень реализуется с помощью коннекторов (RJ-45; Т-коннектор). Нижние два подуровня реализуются с помощью трансиверов, приемопередатчиков, которые могут быть встроены в сетевую плату или выполняться автономно. Одна сетевая плата может иметь возможность соединения с разными средами.

7.2. Использование коаксиального кабеля

Важнейшими параметрами сетей Ethernet являются максимальные допустимые расстояния между устройствами. Допустимые расстояния для Ethernet на коаксиальном кабеле приведены на рис. 7.2.

Использование **“тонкого” (thin) коаксиального кабеля** регламентируется стандартом 10Base2 (10 означает скорость передачи 10 Мбит/с, Base – узкополосная передача, 2 – передача на расстояние, примерно в 2 раза превышающее 100 м, фактически 185 м) [3]. Диаметр центрального медного провода 0,89 мм. Подсоединение к кабелю сетевой платы осуществляется с помощью Т-коннекторов. На конце кабеля с обеих сторон устанавливаются терминаторы для поглощения переданных блоков данных. Использование тонкого коаксиального кабеля считается простым и дешевым вариантом построения сети. Для увеличения длины сети используются репитеры (повторители). При этом должно выполняться правило 5-4-3, означающее, что в сети может быть максимум 5 сегментов,

4 репитера и рабочие станции могут быть подключены максимум к трем сегментам. Под сегментами в данном случае понимаются участки сети, разделенные репитерами.

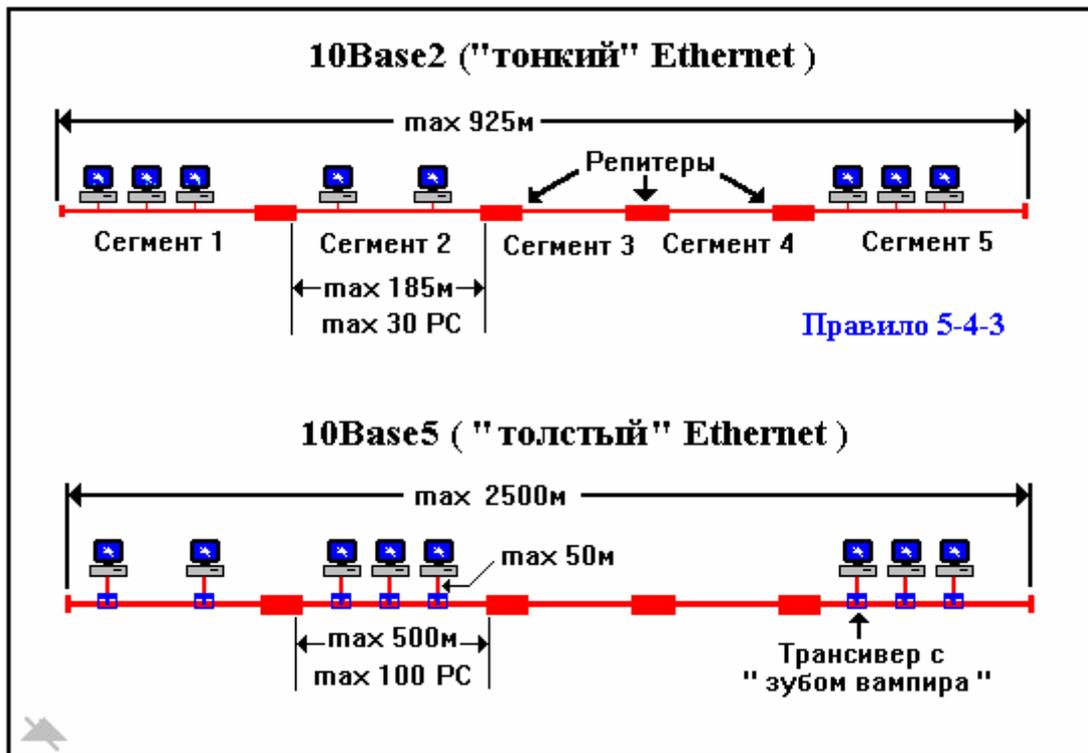


Рис. 7.2. Расстояния в Ethernet на коаксиальном кабеле

Использование «толстого» (**thick**) коаксиального кабеля регламентируется стандартом 10Base5. Диаметр центрального медного провода 2,17 мм. Утолщение кабеля приводит к меньшим искажениям передаваемого сигнала. В результате появляется возможность увеличения расстояний в сети, увеличения числа подключаемых компьютеров. Стоимость кабеля, его прокладки, подключения компьютеров (требуется внешний трансивер) увеличивается.

7.3. Использование витой пары и оптического волокна

Использование **витой пары** (twisted pair) в сети Ethernet на скорости 10 Мбит/с регламентируется стандартом 10BaseT (рис. 7.3).

Сеть, построенная на витой паре, внешне похожа на звезду. Каждая рабочая станция индивидуальным кабелем подключается к центру звезды, хабу, в качестве которого может выступать концентратор, коммутатор, маршрутизатор.

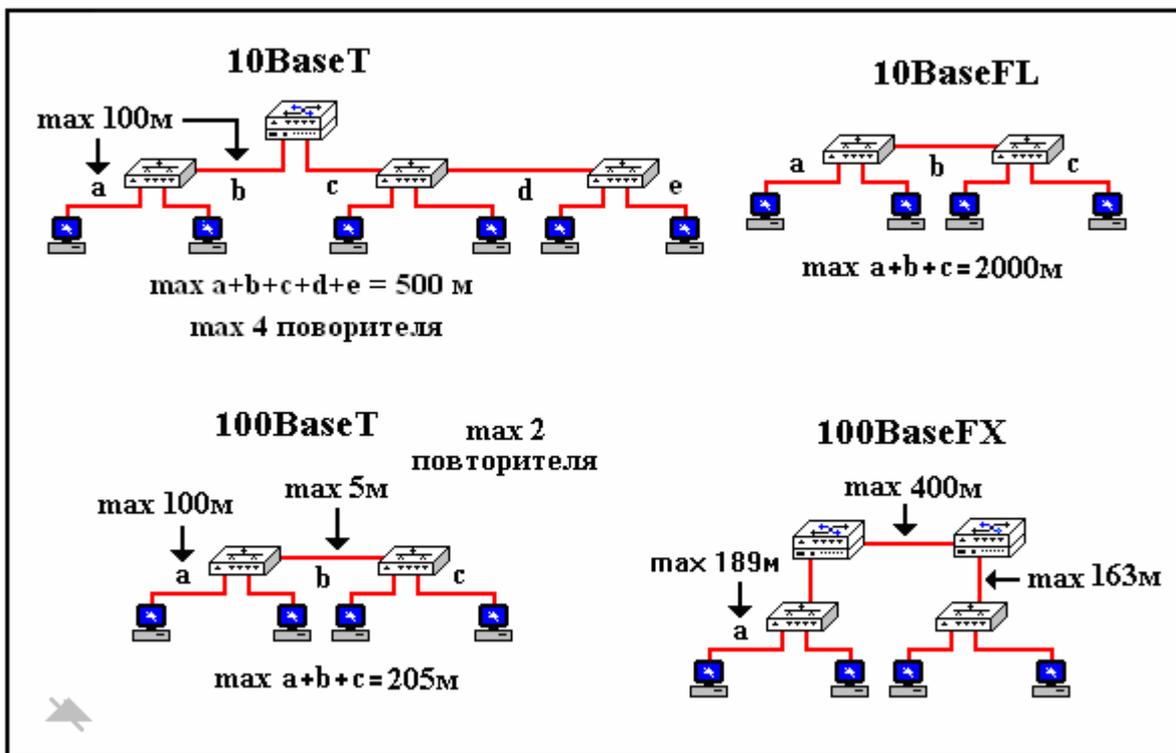


Рис. 7.3. Использование витой пары и оптического волокна

Витая пара представляет собой пару скрученных проводников. Скручивание проводников уменьшает электрические помехи извне при распространении сигналов по кабелю. Витые пары бывают экранированные (**STP – Shielded Twisted Pair**) и неэкранированные (**UTP – Unshielded Twisted Pair**). Кроме того, витые пары различают по категориям. Для локальных сетей используют UTP 3, 4, 5 категорий и STP (Type1 IBM). Кабель может содержать различное количество витых пар. Сетевое оборудование (сетевая плата, концентратор) соединяется с витой парой с помощью разъема RJ-45, внешне похожего на телефонный разъем RJ-11, но имеющего 8 контактов.

Основные недостатки 10BaseT по сравнению с 10Base2 заключаются в уменьшении расстояний и использовании более дорогой кабельной системы.

Основные достоинства 10BaseT по сравнению с 10Base2:

- увеличение надежности;
- возможность использования универсальной структурированной кабельной системы, позволяющей применять разные технологии (Ethernet, Token Ring, обычная телефония);
- удобство эксплуатации, администрирования.

Стандарт **100BaseT (Fast Ethernet)** также использует витую пару, рассчитан на передачу данных со скоростью 100 Мбит/с. Различают две модификации стандарта 100BaseT: 100BaseTX и 100BaseT4.

Стандарт 100BaseTX используется для передачи данных по двум парам UTP категории 5 или STP категории 1 IBM. Одна пара служит для передачи данных, другая для приема. Поддерживается полнодуплексный режим передачи.

Стандарт 100BaseT4 регламентирует передачу данных по 4 парам UTP категорий 3, 4, 5 или STP категории 1 IBM. Три пары используются для приема/передачи, одна пара используется для приема и обнаружения конфликтов. Полнодуплексный режим не поддерживается.

Увеличение скорости передачи предъявляет повышенные требования к расстояниям между оборудованием. По сравнению с 10BaseT более жестко регламентируются число повторителей в сегменте сети и расстояния между ними. Под сегментом здесь понимаются устройства, имеющие общую шину. Различают повторители первого класса и повторители второго класса. Повторители первого класса передают сигналы в два этапа, с преобразованием, что позволяет их использовать в качестве мостов. Повторители второго класса передают сигналы от одного порта в другой «на лету». Повторители второго класса более быстрые. К ним относятся обычно концентраторы. Коммутаторы могут быть повторителями обоих классов. В одном сегменте сети не может быть больше одного повторителя 1 класса и больше двух повторителей 2 класса. Между повторителями 2 класса расстояние не может превышать 5 м. Максимальное расстояние между повторителями 1 класса 100 м, при этом станции, подключенные к ним, должны относиться к разным сегментам сети. Сеть может содержать участки на 10 и 100 Мбит/с.

Использование оптоволоконных кабелей в Ethernet регламентируется стандартами **10BaseFL**, **100BaseFX** (см. рис. 7.3). Оптическое волокно используется в основном для увеличения расстояний, надежности отдельных участков сети. Монтаж оптоволоконных линий стоит значительно дороже, чем витых пар. Для использования всей ширины полосы пропускания оптического волокна требуется применение специальных мультиплексоров.

Особенности построения сетей с высокой скоростью передачи Gigabit Ethernet на витой паре и оптическом волокне приведены в [4].

7.4. Использование радиоканала

Технология **RadioEthernet** используется в случаях, когда радиоканалы более удобны, чем кабельные линии. В последнее время **RadioEthernet** стали называть **WI-FI** (Wireless Fidelity – беспроводная точность). Первоначально термин WI-FI относился к сетям малой размерности (диаметр – десятки метров). Позднее устройства с названием WI-FI стали обеспечивать дальность передачи в десятки километров. Это позволяет использовать WI-FI для построения не только локальных, но и территориальных (крупных, протяженных) сетей. Основой для WI-FI является серия стандартов IEEE 802.11.

Основными частотными диапазонами для RadioEthernet являются:

- 2,4 – 2,5 ГГц;
- 5,8 – 5,9 ГГц.

Разрешение на использование этих диапазонов в разных странах оформляется по-разному. Параметры дальности, скорости, надежности передачи данных взаимосвязаны и зависят от качества устройств и условий эксплуатации. В RadioEthernet выделяют три базовые топологии: «все-со-всеми», «звезда», «точка-точка». Топология «все-со-всеми» представлена на рис. 7.4.

Основной характеристикой топологии «все-со-всеми» является наличие всенаправленных антенн у всех станций. Эта топология используется для организации радиосети на относительно небольших расстояниях. Она особенно удобна для мобильных пользователей с портативными компьютерами. Качество радиоканала, расстояние уверенного приема в значительной степени зависят от наличия прямой видимости между антеннами. Если учесть, что в этой топологии на физическом уровне используется один радиоканал на всех, с некоторых точек зрения ее можно считать общей шиной.

Топология «точка-точка» обычно используется для соединения двух объектов, находящихся на большом расстоянии друг от друга. Надежная связь обеспечивается направленными антеннами, позволяющими передавать данные на расстояния в несколько десятков километров (рис. 7.5). Для еще большего увеличения расстояний используются усилители. Дальность уверенного приема очень сильно зависит от окружающей обстановки. Например, зафиксирован рекорд RadioEthernet, когда передача данных между

направленными антеннами велась на расстоянии 100 км.

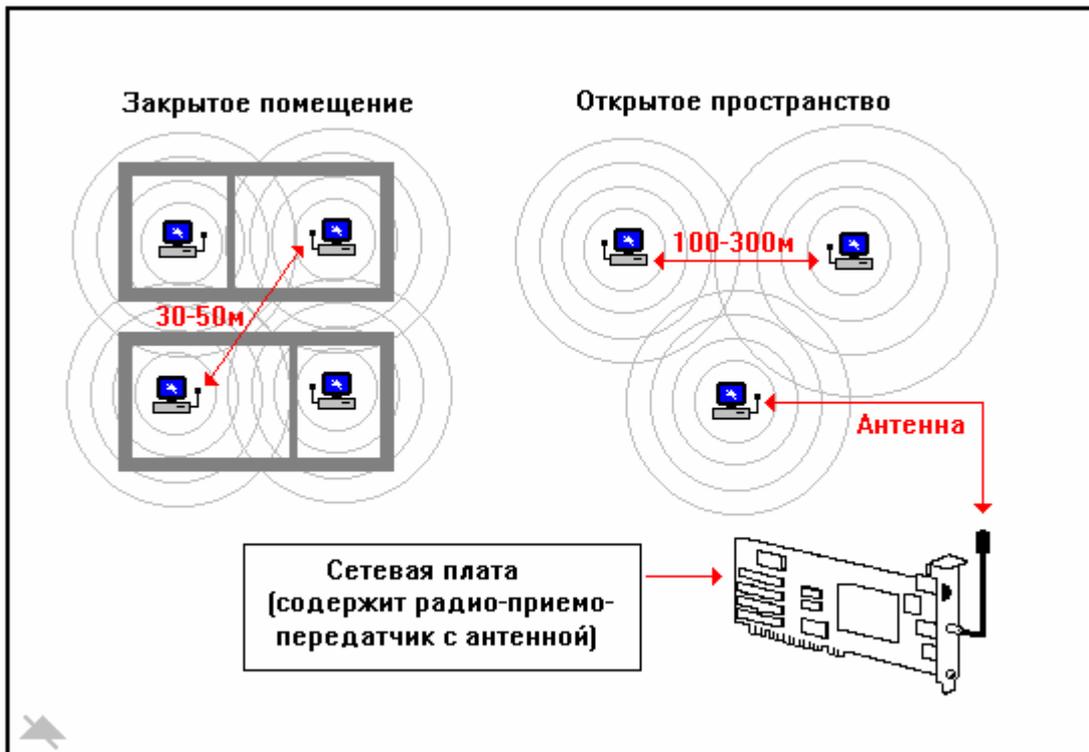


Рис. 7.4. Топология «все-со-всеми»

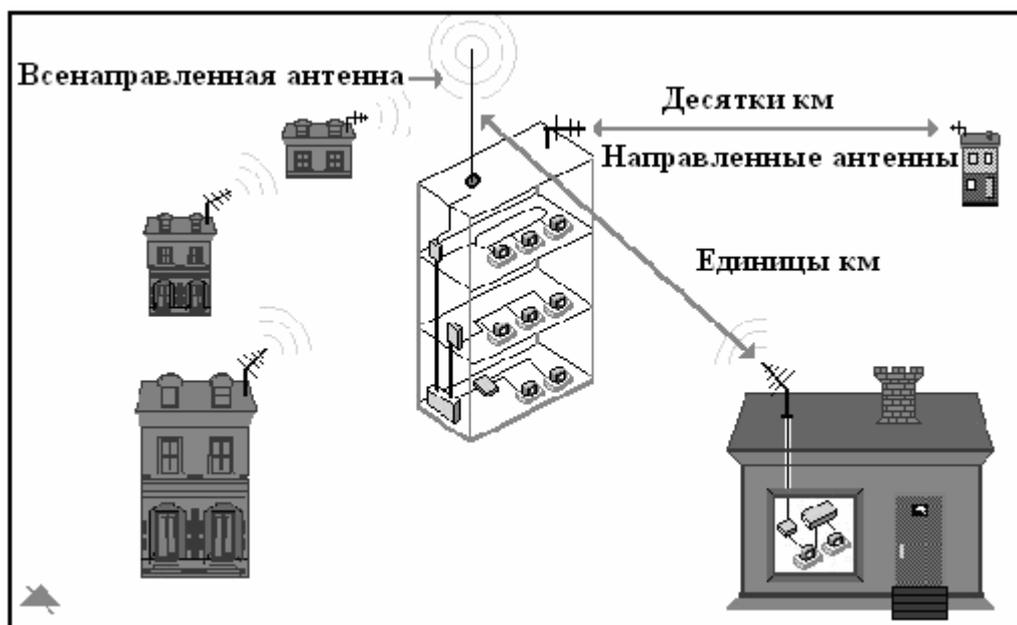


Рис. 7.5. Использование направленных и всенаправленных антенн

Топология «звезда» реализуется с помощью устройства с названием «точка доступа», имеющего всенаправленную (иногда секторную) антенну. При этом абоненты могут иметь всенаправленные (при малых расстояниях) или направленные (при больших расстояниях) антенны. Абонентами могут быть стационарные и переносные компьютеры, кабельные локальные сети (см. рис. 7.5).

7.5. Структура кадра Ethernet

Консорциум трех фирм Digital, Intel и Xerox (DIX) в 1980 г. представил на рассмотрение комитету 802.3 свою фирменную версию стандарта Ethernet [4]. Она стала основой для принятия в 1985 г. стандарта IEEE 802.3, входящего в состав модели OSI. Этот стандарт расширяет возможности Ethernet, поэтому нельзя отождествлять понятия Ethernet и IEEE 802.3. Точнее говорить, что в Ethernet реализованы основные рекомендации IEEE 802.3. Структуры блоков данных IEEE 802.2 и IEEE 802.3 представлены на рис. 7.6.

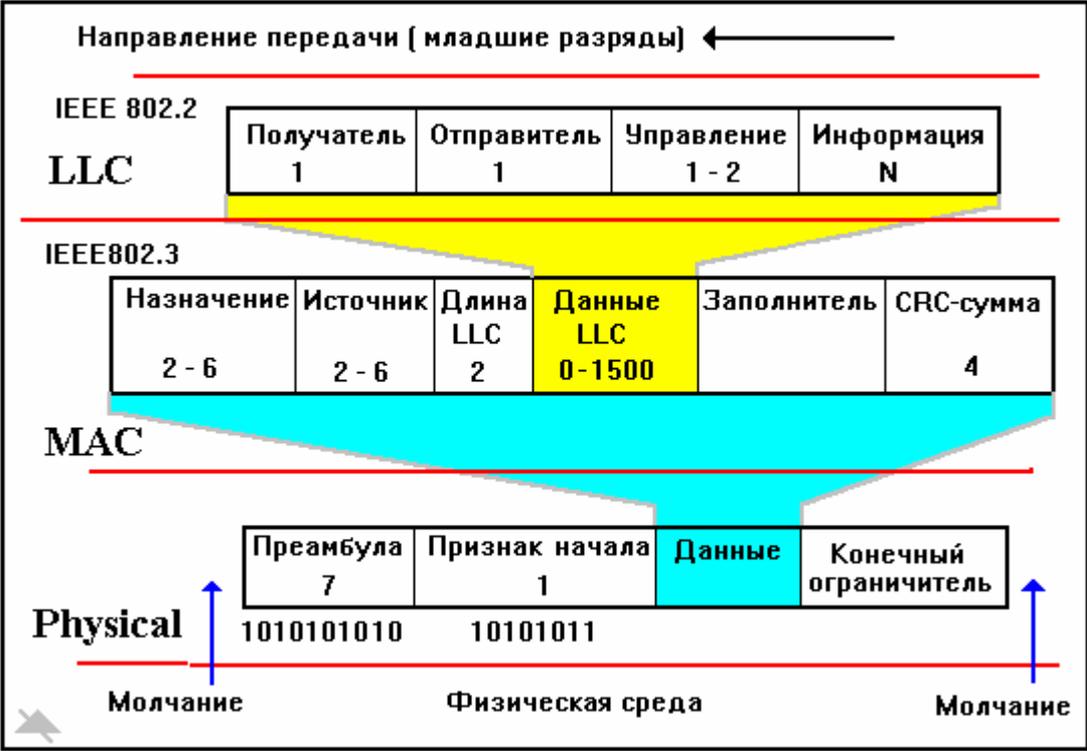


Рис. 7.6 Структура данных IEEE 802.2, IEEE 802.3

Стандарт IEEE 802.2 регламентирует подуровень LLC. Стандарт IEEE 802.3 регламентирует подуровень MAC и физический уровень. В стандартах IEEE передача байтов начинается с младших разрядов.

Существует 4 формата кадра Ethernet, построенных в соответствии с рекомендациями IEEE 802.2 и IEEE 802.3. Мы рассмотрим соотношение между этими стандартами и форматом кадра классической Ethernet (Ethernet DIX, Ethernet II). Соотношение между Ethernet и IEEE 802.3 демонстрирует соотношение между реальными сетями и моделью OSI.

Поля блока, приходящего с подуровня LLC, имеют следующее назначение.

Адрес получателя состоит из одного байта и идентифицирует адрес точки входа службы назначения (Service Access Point, SAP). Например, для протокола IP значение SAP в шестнадцатеричной системе равно 06.

Адрес отправителя состоит из одного байта, аналогичен адресу получателя, но определяет адрес точки входа службы источника данных.

Управление состоит из одного или двух байтов. Служит для управления передачей. Определяет разные типы служебных блоков данных ("готов к приему", "не готов к приему", "разъединение" и др.), задает порядковые номера передаваемых кадров (аналогично HDLC).

Информация содержит данные верхнего уровня.

В Ethernet (DIX) подуровень LLC не реализован.

Поля кадра, формируемого на подуровне MAC, имеют следующее назначение.

Назначение. Содержит 2 или 6 байтов в зависимости от типа установленной ЛВС. В поле указывается MAC-адрес сетевой платы, которая должна принять кадр. В Ethernet длина адресного поля 6 байтов. Первый бит адреса назначения определяет, является адрес ширококвещательным или индивидуальным. Если значение этого бита равно 1, кадр предназначен группе станций или всем станциям сети. Если значение этого бита равно 0, кадр предназначен отдельной станции.

Источник. Длина этого поля равна 2 или 6 байтам и содержит адрес отправителя. В Ethernet длина адресного поля 6 байтов.

Длина. Это двухбайтное поле содержит информацию о длине поля данных в кадре. В Ethernet в этом поле записывается тип

протокола верхнего уровня (адрес точки входа службы назначения), что позволяет направлять кадры разным протоколам.

Данные. В этом поле переносятся данные верхнего уровня. В IEEE 802.3 может иметь длину от 0 до 1500 байтов. В Ethernet минимальная длина этого поля равна 46 байтов.

Заполнитель. В это поле вставляются символы для доведения длины пакета до минимально допустимой для конкретного протокола величины. В Ethernet это поле отсутствует.

CRC-сумма. Поле длиной 4 байта. Содержит проверочный код, получаемый в результате арифметических операций над содержимым кадра на передатчике. Если результат арифметических операций над кадром, полученный приемником, совпадает с результатом, записанным в CRC-сумме, то считается, что кадр передан верно.

Таким образом, минимальная длина MAC-кадра в Ethernet составляет 64 байта. Кадры меньшей длины считаются ошибочными и не принимаются.

На физическом уровне из MAC-кадра формируется кадр со следующими полями.

Преамбула. Это поле содержит 7 одинаковых байтов (10101010), предназначенных для предварительной синхронизации передатчика и приемников.

Признак начала кадра. Это поле содержит один байт (10101011). В Ethernet оба первых поля называются преамбулой.

Данные. В этом поле переносятся MAC-кадры.

Конечный ограничитель. Набор сигналов определенного уровня, указывающих на окончание кадра.

В конце передачи кадра присутствует период молчания, что не позволяет отдельной станции монополизировать канал. Пока она молчит, другая станция может занять канал.

7.6. Технологические ограничения на максимальные расстояния между компьютерами сети

Ограничения на расстояния между компьютерами связаны с внешними помехами, затуханиями сигналов, с особенностями технологии Ethernet. Влияние первых двух факторов ограничивается с помощью защиты кабеля и использованием повторителей (репитеров). Рассмотрим принципиальные технологические ограничения на максимальные расстояния между компьютерами в

Ethernet. В связи с тем, что для кадров Ethernet на канальном уровне не предусмотрена повторная передача, одной из самых неприятных считается ситуация, когда станция узнает о столкновении после того, как кадр ею уже передан в канал. Для того, чтобы этого не произошло, она должна узнать о конфликте до того, как передаст кадр в канал. Дольше всего передающая станция узнает о столкновении, произошедшем около наиболее удаленной станции (рис. 7.7).



Рис 7.7. Технологические ограничения на максимальные расстояния

Минимальная длина кадра Ethernet (на MAC-уровне 512 бит, 64 байта, на физическом уровне 576 бит, 72 байта) была выбрана именно для предотвращения таких ситуаций. При скорости 10 Мбит/с для передачи в канал MAC-кадра требуется 51,2 Мкс. Этого времени должно быть достаточно для того, чтобы первый бит передаваемого кадра дошел до самой удаленной станции, в случае столкновения около нее сигнал столкновения должен прийти за это же время до передатчика. Скорость распространения сигнала в Ethernet должна быть не менее 0,77 скорости света (230 м/мкс). При повышении качества физического канала эта скорость может быть увеличена. За 51 мкс сигнал может распространиться на расстояние 11730 м. Максимальное расстояние между станциями могло бы быть примерно 5,5 км, если бы при передаче сигналов не было других задержек. Дополнительные задержки возникают на сетевой плате (кодирование, тракт приемопередатчика), на повторителях, поэтому на распространение сигнала остается меньше времени (примерно половина времени передачи кадра). В результате максимальное расстояние между станциями в 10Base5 принимается равным 2500 м.

В Ethernet со скоростью 100°Мбит/с кадр передается в канал в 10 раз быстрее, поэтому ограничения на расстояния более жесткие.

Указанные технологические ограничения на расстояния относятся в первую очередь к Ethernet с использованием метода доступа CSMA/CD. Для метода CSMA/CA, используемого в RadioEthernet, эти ограничения менее существенны благодаря используемому в нем механизму предотвращения конфликтов. Это позволяет создавать каналы RadioEthernet длиной до нескольких десятков километров.

В настоящее время происходит развитие методов передачи данных в локальных сетях. Появляется дуплексная передача, увеличивается скорость передачи. Это требует модификации классической общей шины. Наиболее консервативной частью Ethernet являются форматы кадров.

8. ФИЗИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Распределенные сети называют территориальными, региональными, глобальными, телекоммуникационными [4,5,6]. Главное отличие от локальных сетей состоит в большей протяженности каналов связи. Это влияет на технологию передачи данных.

8.1. Логическая структура физического уровня

Понятие физического уровня, его назначение и выполняемые функции определены в рекомендациях МККТТ X.200 и стандарте ISO 7498.

Физический уровень обеспечивает прозрачную передачу последовательностей битов между объектами канального уровня через физическое соединение. Протокольный блок данных физического уровня состоит из одного бита при последовательной передаче и из N битов при параллельной передаче. Физические соединения могут быть двухточечные и многоточечные. Многоточечное соединение обеспечивает связь сразу нескольких (более двух) абонентов.

На рис. 8.1 представлена логическая структура физического уровня.

ООД – оконечное оборудование данных. Аналогичный английский термин DTE (Data Terminal Equipment – устройство, генерирующее или принимающее данные).

АКД – аппаратура окончания канала данных. В отечественной литературе встречается аналогичный термин АПД – аппаратура передачи данных. Аналогичный английский термин DCE (Data Circuit-terminating Equipment – устройство, осуществляющее интерфейс между ООД и физической средой).

ООД и АКД – логические устройства, логические понятия, с помощью которых описывается выполнение определенного набора функций. Являются абстрактными, собирательными, обобщенными образами множества реальных устройств. Например, функции ООД могут выполнять порты COM1 и COM2 персонального компьютера. Функции АКД может выполнять модем (если в качестве физической среды используется аналоговый канал связи) или линейный

контроллер (если в качестве физической среды используется дискретный канал связи).

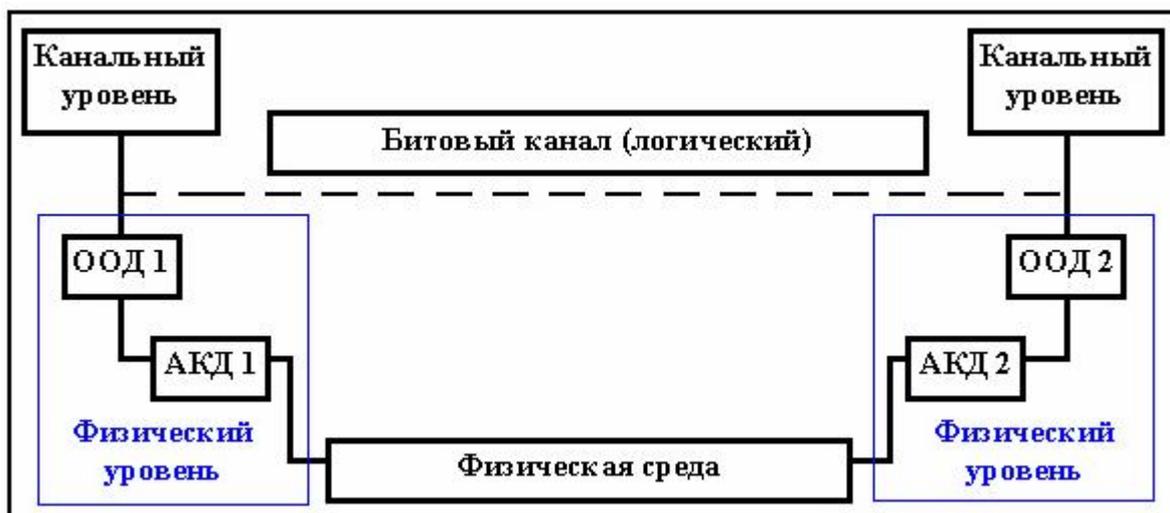


Рис. 8.1. Логические объекты физического уровня

Физически ООД и АКД могут быть встроены в одну ЭВМ (встроенный модем) или разнесены на значительные расстояния. В локальных сетях функции ООД и АКД выполняют сетевые карты.

С точки зрения АКД функции физической среды могут выполнять телефонная сеть, коммутируемый или выделенный канал телефонной сети, промежуточная компьютерная сеть, частный провод, радиоканал или радиосеть и др.

8.2. Реализация физического уровня с использованием модема

Соотношения между логическими объектами физического уровня и реальными устройствами (при использовании модема) представлены на рис. 8.2. Функции ООД выполняет СОМ-порт компьютера. Функции АКД выполняет модем. Этим функции СОМ-порта и модема не ограничиваются. СОМ-порт может выполнять некоторые функции канального уровня (проверка на четность). Модем также может выполнять функции канального уровня, связанные с организацией надежного канала связи. Это говорит о сложности сопоставления логических функций и реальных устройств, в которых они реализуются.

К компьютеру модем подключается через порт СОМ, а к телефонной розетке и телефону – с помощью разъема RJ11,

имеющего 2 пары проводов. Обычно используется только одна пара. Телефон и модем могут также быть соединены внутри розетки.

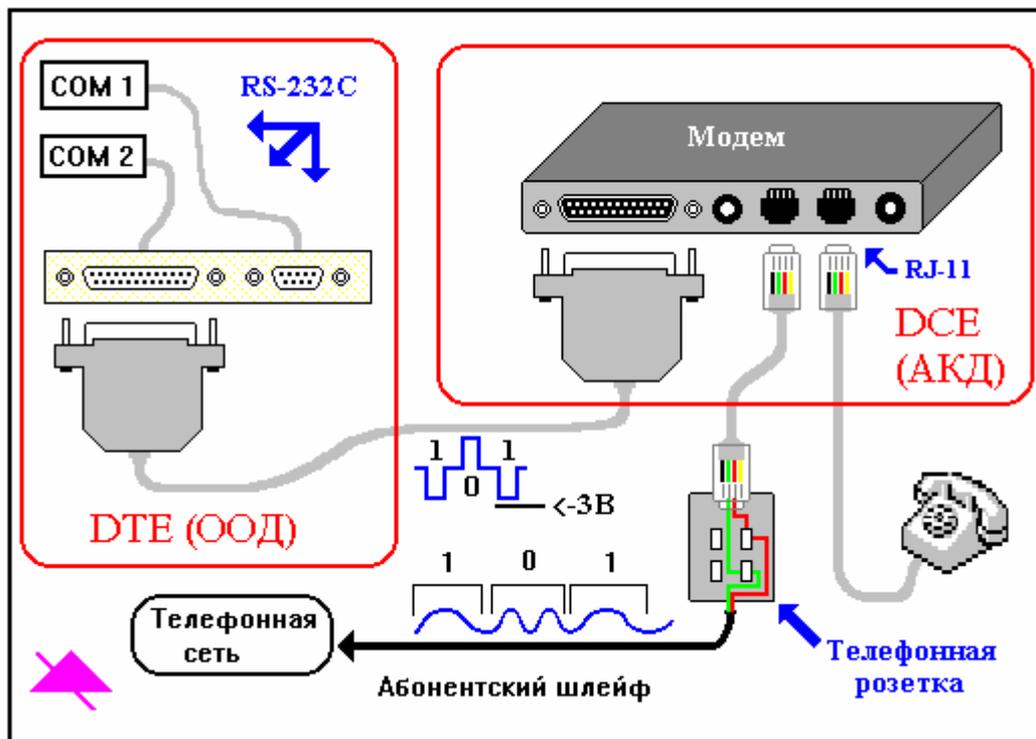


Рис. 8.2. Подключение модема

8.3. Основные стандарты физического уровня

Объектом стандартизации на физическом уровне в рамках OSI является стык ООД-АКД. Кроме того, существует множество стандартов, касающихся АКД (оборудования, каналообразующей аппаратуры), а также физических каналов связи.

Стандарты стыка ООД-АКД.

Эти стандарты определяют 4 группы характеристик:

- механические;
- электрические;
- функциональные;
- процедурные.

К механическим характеристикам относятся количество, расположение, размеры разъемов, их конструктивное исполнение.

К электрическим характеристикам относятся эквивалентные электрические схемы, величины токов и напряжений в разных точках

эквивалентных схем, соответствия электрических сигналов логическим нулям и единицам.

К функциональным характеристикам относятся логические функциональные цепи интерфейса ООД-АКД.

Процедурные характеристики физического уровня определяют логику, порядок, алгоритмы использования цепей и контактов для осуществления взаимодействия между ООД с использованием АКД. Практически процедурные характеристики являются протоколами физического уровня.

Классическими представителями физического уровня являются стандарт RS-232C и его реализации в COM-портах персонального компьютера.

В настоящее время для подключения внешних устройств чаще всего используется универсальная последовательная шина **USB** (Universal Serial Bus). Для подключения периферийных устройств к шине USB используется четырёхпроводный кабель. Два провода (витая пара) используются для приёма и передачи данных, а остальные два провода – для питания периферийного устройства. Благодаря встроенным линиям питания USB позволяет подключать периферийные устройства без собственного источника питания (максимальная сила тока, потребляемого устройством по линиям питания шины USB, не должна превышать 500 мА). К одному контроллеру шины USB можно подсоединить до 127 устройств по топологии звезда.

9. КАНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ

9.1. Общие сведения

Основное назначение канального уровня (уровня звена передачи данных) – организация **надежной передачи** порций данных (кадров) по ненадежным битовым трактам. Место канального уровня в структуре OSI представлено на рис. 9.1. Верхнему, сетевому, уровню канальный уровень предоставляет виртуальный канал для передачи кадров (контейнеров, в которые помещаются пакеты сетевого уровня).

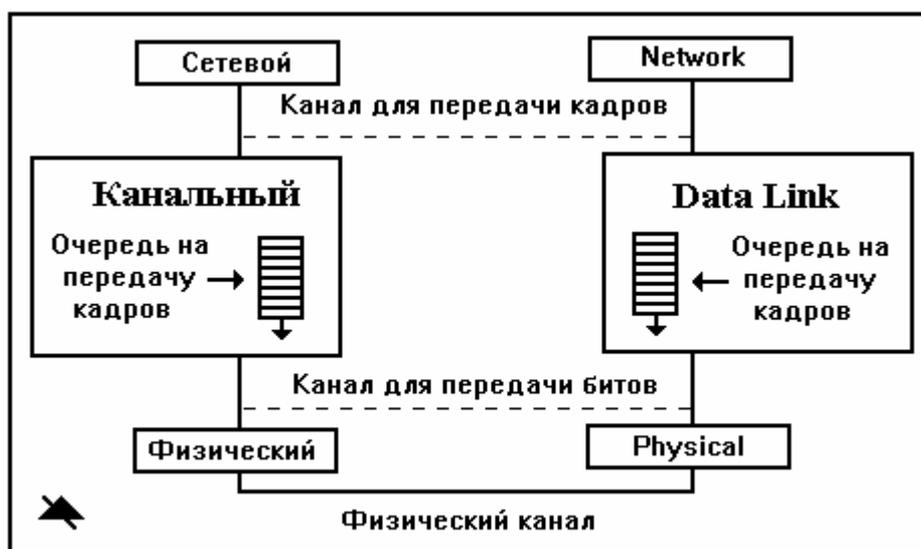


Рис. 9.1. Общая структура канального уровня

На канальный уровень возлагаются также следующие функции:

- организация доступа к каналу связи (организация очередей к каналу, захват канала для передачи);
- выбор канала для передачи (если между узлами существует несколько каналов связи);
- организация передачи данных от одного узла сразу нескольким (многоточечное соединение).

Для обеспечения надежной передачи данных основными являются два механизма: механизм обнаружения ошибок в переданных кадрах и механизм управления потоком кадров (механизм скользящего окна). Обнаружение ошибок в переданных кадрах осуществляется обычно способом, рассмотренным ранее для

кадра Ethernet IEEE802.3. Суть этого способа заключается в передаче вместе с кадром проверочной последовательности, используемой для обнаружения искажений в переданных битах.

9.2. Механизм скользящего окна

Механизм скользящего окна (МСО) используется во многих протоколах канального и более высоких уровней (протоколы на основе HDLC, протокол TCP) и служит для нумерации блоков данных, для управления их передачей, для организации повторной передачи. МСО позволяет использовать ограниченное количество чисел для нумерации длинных последовательностей блоков. Ограниченность числового ряда позволяет сократить число разрядов для нумерации блоков данных. Для пояснения МСО введем следующие обозначения:

W – максимальная величина (ширина) окна. Число блоков, которые могут быть переданы передатчиком без получения подтверждения от приемника. Под блоком данных может пониматься любая порция информации (байт протокола TCP, кадр канального уровня);

$W(S)$ – текущая величина окна передачи. Число блоков, которые могут быть переданы передатчиком в данный момент времени;

$W(R)$ – текущая величина окна приема. Число блоков, которые могут быть приняты приемником в данный момент времени;

$N(S)$ – номер передаваемого блока. Передается в блоке, передаваемом от передатчика к приемнику;

$N(R)$ – номер ожидаемого блока. Передается в квитанции, передаваемой от приемника к передатчику;

$V(S)$ – номер блока, который должен быть передан в канал. Параметр хранится в передатчике;

$V(R)$ – номер блока, который должен быть принят из канала. Параметр хранится в приемнике.

Рассмотрим процедуру использования МСО (рис. 9.2, 9.3). Процесс циклической нумерации блоков удобно иллюстрировать с помощью круговых диаграмм. Предположим, для нумерации блоков используется три двоичных разряда, а величина окна $W=4$. В начальный момент времени $V(S)=0$; $W(S)=4$. После передачи в канал первых двух блоков (им присвоены номера $N(S)=0$ и $N(S)=1$) $W(S)$ становится равным двум. Окно (светлое) передачи показывает номера

блоков, которые еще можно передать в канал, не дожидаясь подтверждения приемника о приеме уже переданных в канал блоков. Номер блока, который может быть передан, устанавливается равным $V(S)=2$. Переданные блоки хранятся в буфере передатчика. Это позволяет при необходимости осуществить повторную передачу блока.

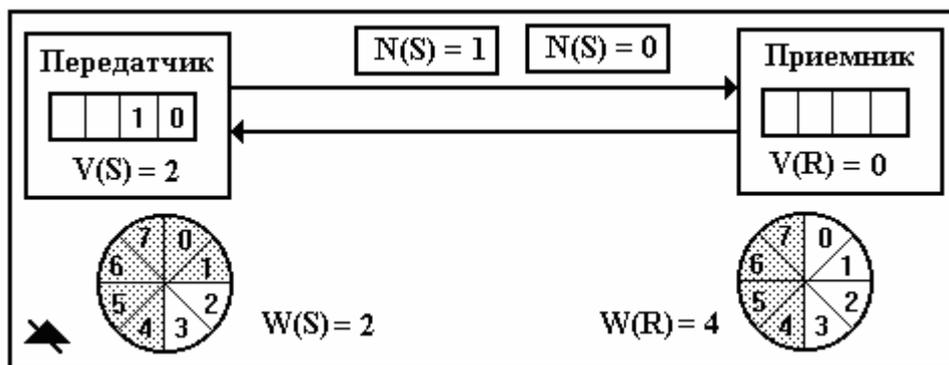


Рис. 9.2. Передача первых двух блоков

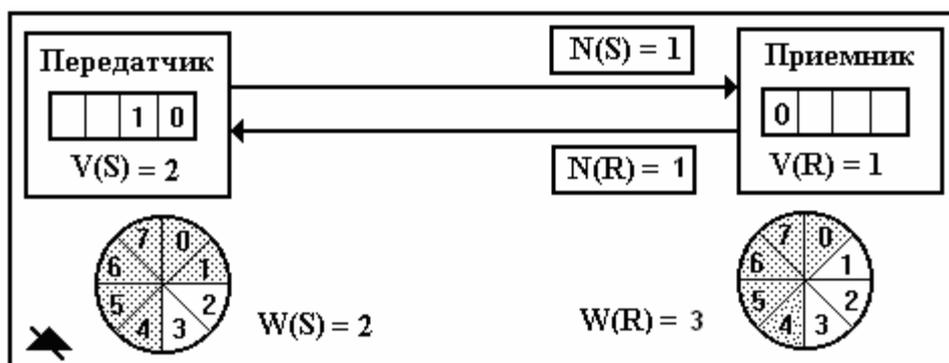


Рис. 9.3. Передача приемником квитанции на первый блок

После приема приемником первого блока (блока с номером, равным нулю) генерируется квитанция, содержащая номер следующего ожидаемого блока (см. рис. 9.3). Квитанция может быть положительная или отрицательная. Предположим, приемник не обнаружил ошибок в блоке с $N(S)=0$, принял его в свой буфер, сгенерировал подтверждение с номером $N(R)=1$ и отправил его в канал. Кадр еще не передан на сетевой уровень. Окно приема сдвинулось на единицу, приемник ждет блоки с номерами 1, 2, 3. Первый ожидаемый блок должен иметь номер 1 ($V(R)$ устанавливается равным 1). Квитанция генерируется не обязательно на каждый принятый блок. Например, после принятия блоков с

номера $N(S)=0$ и $N(S)=1$ квитанция с номером $N(R)=2$ квитирует сразу два блока.

На рис. 9.4 показан момент времени, когда передатчик принял положительную квитанцию на первый переданный блок, а приемник принял второй блок, передал на сетевой уровень блок с номером 0, сгенерировал квитанцию и отправил ее в канал.

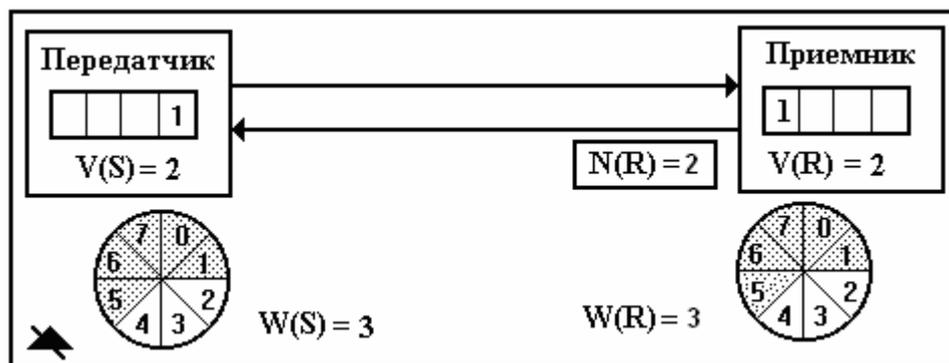


Рис. 9.4. Прием передатчиком положительной квитанции

После приема положительной квитанции на первый блок, окно передатчика увеличивается на единицу, подтвержденный блок удаляется из буфера. Если бы была получена отрицательная квитанция, блок с номером 0 был бы передан повторно. В изображенной на рис. 9.4 ситуации передатчик имеет право передавать блоки с номерами 2 – 4, а приемник ожидает блоки с номерами 2 – 4.

После блока с номером 7 в канал посылается блок с номером 0.

В примере рассмотрена асимметричная структура. Станции, участвующие в передаче данных на канальном уровне, принято разделять на **первичные**, **вторичные**, **комбинированные**. Первичные станции (в рассмотренном примере передатчик) обладают большими логическими возможностями по сравнению со вторичными, несут ответственность за организацию передачи данных. Кадры, посылаемые первичными станциями, называются **командами**. Кадры, посылаемые вторичными станциями, называются **ответами**. Комбинированными называют станции, выполняющие функции первичных и вторичных станций. Для осуществления симметричной структуры с дуплексной передачей необходимо организовать два описанных канала (логических), две комбинированные станции. В каждом из двух узлов должны быть реализованы и передатчик, и приемник.

9.3 Процедура HDLC

Высокоуровневый протокол (процедура) управления каналом данных HDLC (High level Data Link Control) разработан ISO на основе более ранней аналогичной разработки IBM под названием SDLC. Процедура HDLC ориентирована на передачу данных между парой смежных узлов сети (связанных непосредственно физическим каналом связи) на относительно большие расстояния по относительно ненадежным линиям связи. HDLC представляет собой набор рекомендаций, команд, алгоритмов, на базе которых могут быть реализованы конкретные протоколы. Одним из известных протоколов такого рода является набор процедур LAPB, широко использующийся для поддержки протокола X.25 на втором уровне OSI. На базе HDLC построены протоколы для модемов, протоколы уровня LLC локальных сетей. Структура кадра HDLC представлена на рис. 9.5.

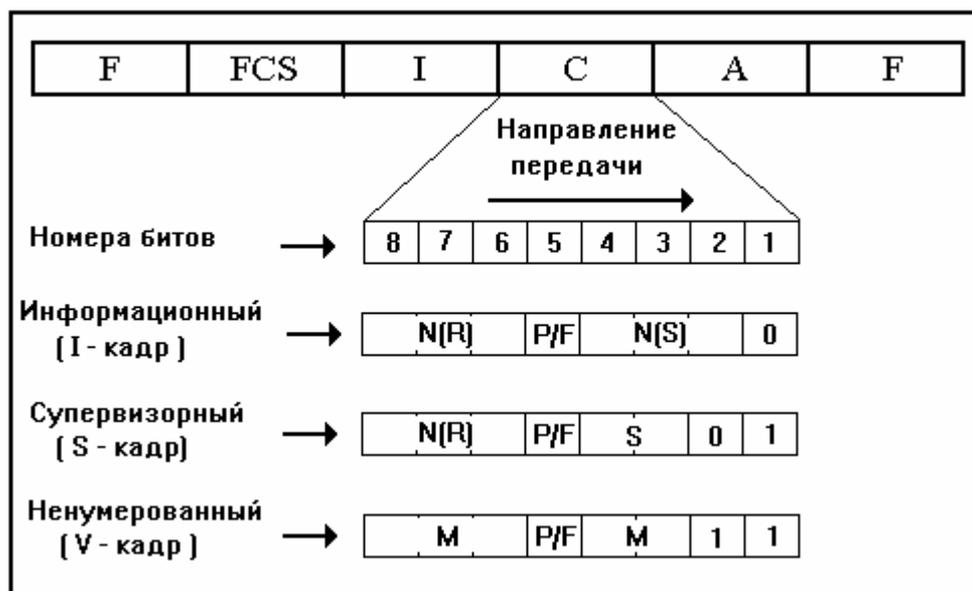


Рис. 9.5. Структура кадра HDLC

В верхней части рисунка представлена обобщенная структура кадра. Поля кадра имеют следующее назначение:

- *F* – флаг, служит для обозначения начала и окончания кадра;
- *A* – область адреса;
- *C* – область управления;
- *I* – информационная область (может отсутствовать). Содержит пакет, переданный с сетевого уровня;
- FCS* – проверочная область.

Флаг указывает начало и конец кадра. Он состоит из следующих битов: 01111110. При последовательной передаче кадров допускается разделять кадры одним флагом. Если нет необходимости в передаче по каналу кадров, то возникающий временной промежуток между кадрами допускается заполнять непрерывно следующими друг за другом флагами.

Процедура битстаффинга. Данные пользователя могут содержать последовательности битов, совпадающие с флагом. Для исключения этого применяется процедура битстаффинга. Она осуществляется следующим образом: в потоке данных на передающей стороне после каждых подряд идущих пяти единиц вставляется нуль. На приемной стороне убирается нуль, идущий после пяти единиц подряд.

Адрес. В кадре всегда указывается адрес вторичной станции. Таким образом, по направлению передачи и указанному адресу всегда можно определить, является кадр командой или ответом. Адрес может быть индивидуальным, глобальным и групповым. Индивидуальный адрес определяет конкретную станцию, подключенную к звену передачи данных (ЗПД). Глобальный адрес (11111111) определяет все станции, подключенные к ЗПД. Групповой адрес определяет группу станций, подключенных к ЗПД. Он не должен совпадать ни с одним индивидуальным адресом.

Область управления. Значения первых битов области управления задают тип кадра. Основным назначением **информационного** кадра является перенос информации пользователя. **Супервизорный** кадр используется для квитирования, управления потоком данных. Служебный **нечисловый** кадр используется для управления процессом передачи (например, установление режима передачи, завершение передачи). Поля в области управления имеют следующее назначение:

$N(R)$ – номер ожидаемого кадра. Одновременно подтверждает прием кадров с меньшими номерами;

$N(S)$ – номер передаваемого кадра;

P/F – бит опроса/окончания. Для команды называется P -битом, для ответа – F -битом. В разных режимах P/F -бит несет разную функциональную нагрузку. $P=1$ обычно означает начало опроса. $F=1$ обычно означает окончание передачи вторичной станцией;

S – поле для кодирования S -кадров. S -кадры могут быть следующих типов: RR – готовность к приему, RNR – неготовность к

приему, *REJ* – отказ от приема кадра, *SREJ* – селективный отказ (отказ от кадра, имеющего определенный номер);

M – поле для кодирования команд и ответов. HDLC предусматривает использование около двух десятков различных команд и ответов, таких, например, как *UP* – запрос передачи, *DISC* – разъединение и др.

Процедура HDLC предусматривает также расширенный формат области управления, когда для нумерации кадров используется не 3 бита, а 7, что позволяет увеличить максимальный допустимый номер до 127.

Проверочная область. Служит для обнаружения ошибок (искажений) в принимаемых кадрах. Занимает 2 байта. Метод обнаружения ошибок рекомендациями ISO не регламентируется. МККТТ предлагает свой метод. Идея проверки заключается в следующем.

а) – Выбирается последовательность битов (*A*).

б) – На передающей стороне осуществляются арифметические операции, операндами которой являются *A* и последовательность битов, которые нужно передать.

в) – На основе полученного результата вычисляется *FCS* и записывается в кадр.

г) – На приемной стороне осуществляются операции б) и в).

д) – Если вычисленное приемником значение *FCS* совпадает с полученным от передатчика, то считается, что кадр передан верно.

На рис. 9.6 представлено использование основных кадров. В отсутствие данных канал поддерживается в активном состоянии передачей флагов. Иногда допускается передача в таких случаях последовательности 0111111011111101111110. Для установки соединения предусмотрен ряд команд. Например, командой *SABM* первичная станция предлагает вторичной установить основной асинхронный сбалансированный режим.

Если вторичная станция готова начать обмен данными, она посылает ответ *UA* (ненумерованное подтверждение), в противном случае может быть послан ответ *DM* (режим разъединения). После установления соединения начинается обмен данными. При этом может быть использовано, например, какое-то подмножество следующего множества кадров: *I*, *RR*, *RNR*, *REJ*, *SREJ*, *FRMR*. Ответ *FRMR* служит для сообщения о приеме некорректного кадра. Остальные кадры описаны выше. После передачи данных первичная

станция может послать команду *DISC* (разъединение). Вторичная станция соглашается на разъединение с помощью команды *UA*.

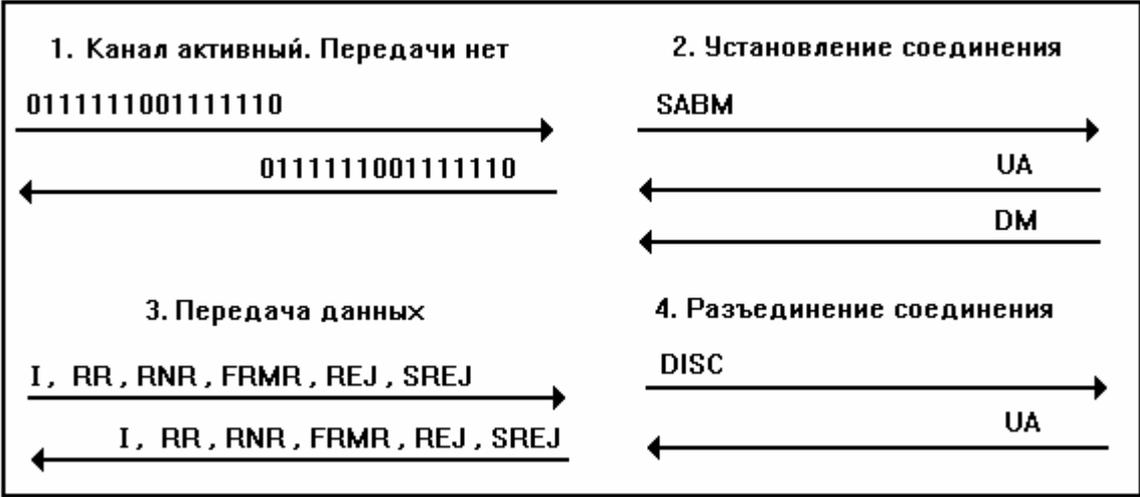


Рис. 9.6. Основные состояния канала

В левой части рис. 9.7 приведена упрощенная схема алгоритма передачи информационного кадра, а в правой части – его приема.

Перед тем, как передать кадр, передатчик должен проверить, открыто ли окно передачи (блок 2). Если окно открыто, формируется информационный кадр (блок 3). $N(S)$ устанавливается равным $V(S)$. Затем $V(S)$ увеличивается на 1. $N(R)$ становится равным $V(R)$. Перед передачей кадра проверяется, запущен ли таймер $T1$ (блок 4). Если таймер не запущен, то он запускается (блок 8). Таймер $T1$ контролирует допустимое время ожидания квитанции на переданные кадры. Если в течение заданного времени квитанция не получена, неподтвержденные кадры передаются повторно.

Одним из параметров протокола является максимальное число повторных передач кадра. Если число повторных передач исчерпано, соединение разрывается. После установления всех необходимых параметров кадр передается в канал (блок 5). При этом копия кадра хранится в передатчике до получения положительной квитанции.

Принятый кадр проверяется на корректность (блок 2 на правой части рис. 9.7). Если кадр некорректен, посылается ответ `FRMR`. Затем проверяется, соответствует ли номер принятого кадра номеру ожидаемого кадра (блок 3). Если не соответствует, посылается команда/ответ «Отказ от кадра» (блок 7). Затем проверяется готовность приемника к приему кадра (блок 4). Если, например, сетевой уровень приемника не готов принять кадр, в канал

посылается команда/ответ *RNR*, что сообщает передатчику о неготовности приемника. После приема кадра переменная $V(R)$ увеличивается на 1. Затем генерируется кадр, содержащий положительную квитанцию (например, кадр *RR*). Положительная квитанция, содержащая номер ожидаемого кадра, который на единицу больше номера принятого, отправляется в канал.

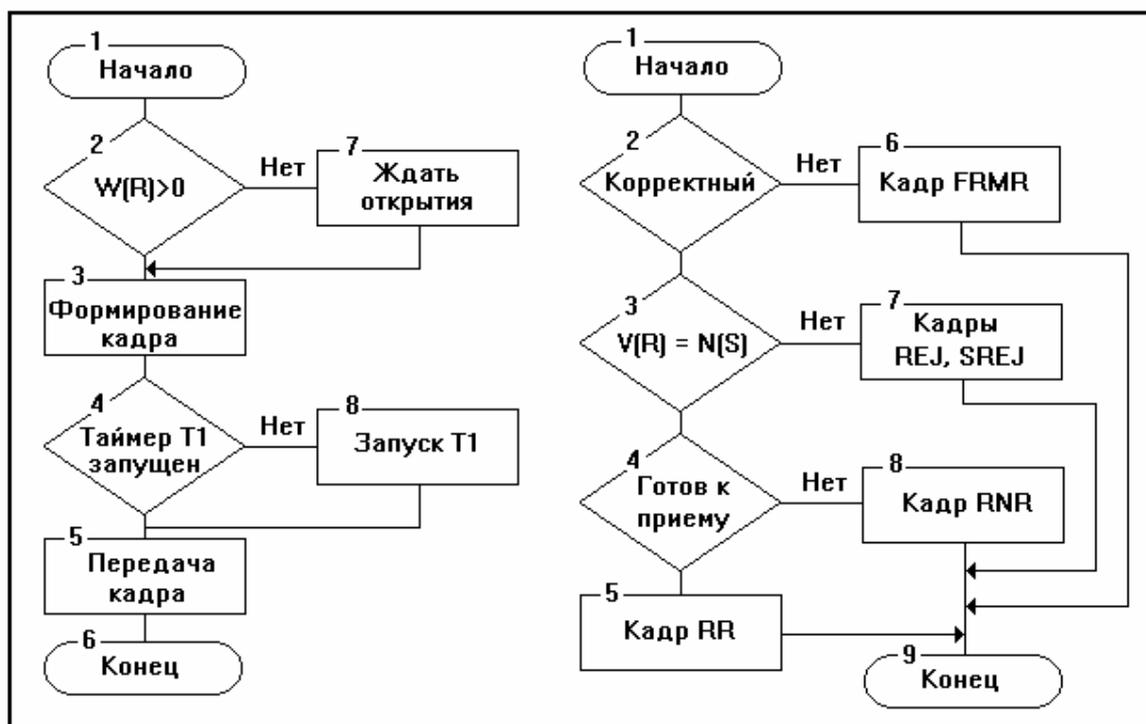


Рис. 9.7. Передача и прием I-кадра

Описанные алгоритмы реализуются во многих протоколах, использующих повторную передачу блоков данных.

9.4. Технология frame relay

При появлении надежных линий связи (например, на основе оптического волокна) процедура HDLC, отягощенная механизмом повторной передачи, перестала устраивать из-за недостаточно высокого быстродействия. Важно и то, что функции повторной передачи все чаще возлагаются на верхние уровни (например, транспортный протокол TCP). Понадобились более простые и быстродействующие технологии передачи данных на канальном уровне. Одной из таких популярных в настоящее время технологий является frame relay. Ретрансляция кадров (frame relay, FR) – это

метод доставки сообщений в СПД с коммутацией пакетов (в отличие от СПД с коммутацией каналов и сообщений). Первоначально разработка стандарта FR ориентировалась на цифровые сети интегрированного обслуживания (ISDN – Integrated Services Digital Networks), однако позже стало ясно, что FR применим и в других СПД (здесь под данными понимается любое сообщение, представленное в цифровой форме). К числу достоинств метода прежде всего необходимо отнести малое время задержки, простой формат кадров, содержащих минимум управляющей информации, и независимость от протоколов верхних уровней OSI (ЭМВОС).

Разработкой и исследованием стандартов FR занимались три организации:

- Frame Relay Forum (FRF) – международный консорциум, включавший в себя свыше 300 поставщиков оборудования и услуг, среди которых 3Com, Northern Telecom, Digital, Cisco, Netrix, Ascom Timeplex, Newbridge Networks, Zilog и др.;

- American National Standards Institute (ANSI, Американский национальный институт по стандартизации);

- Международный союз электросвязи (ITU-T).

С точки зрения **управления потоком** данных FR выполняет функции сетевого уровня, обеспечивая передачу кадров с одного порта коммутатора на другой с помощью хранимой таблицы.

Перед передачей данных пользователи FR должны установить виртуальное соединение. Различают постоянное и временное виртуальные соединения. Постоянное соединение устанавливается на большой промежуток времени, а временное устанавливается оперативно для передачи небольшой порции информации. В FR используются обычно постоянные виртуальные соединения. Установление соединения заключается в том, что в таблицы коммутаторов заносится информация, позволяющая выбирать порт в зависимости от номера виртуального канала, записанного в кадре. В этом смысле коммутатор похож на маршрутизатор, но реализует свои функции аппаратно и у него нет альтернативы.

При установлении соединения пользователь и поставщик услуги заключают соглашение о параметрах, о качестве обслуживания. Основные параметры:

- CIR* (Committed Information Rate) – согласованная скорость, с которой сеть будет передавать данные пользователя. Среднее число байтов, которое пользователь предполагает передавать за время *T*.

B_c (Committed Burst Size) – согласованный объем пульсации, максимальное количество байтов, которое сеть будет передавать от этого пользователя за интервал времени T .

B_e (Excess Burst Size) – дополнительный объем пульсации, максимальное количество байтов, которое сеть будет пытаться передать сверх установленного значения B_c за интервал времени T .

На стадии установления соединения коммутаторы проверяют, смогут ли они обеспечить заданное качество обслуживания. Это зависит от пропускной способности каналов, подключенных к портам коммутатора, от уже установленных виртуальных соединений. Если коммутатор не способен обеспечить заданное качество, соединение не устанавливается.

FR очень похож на протокол HDLC. Однако FR обеспечивает не все функции протокола HDLC. Многие из элементов кадра HDLC исключены из основного формата кадра FR (в последнем адресное поле и поле управления HDLC совмещены в единое адресное поле). Структура кадра FR протокола LAP-F представлена на рис. 9.8.



Рис. 9.8. Структура кадра frame relay

Флаг (F). Все кадры начинаются и заканчиваются комбинацией «флаг»: 01111110.

Заголовок (C). Состоит из битов адреса и другой управляющей информации. Под адресом в FR понимается **идентификатор канала передачи данных** (Data Link Connection Identifier, **DLCI**). Адрес в пределах кадра FR (стандарт FRF) состоит из шести битов первого байта и четырех битов второго байта заголовка кадра (стандарты ANSI и ITU-T допускают размер заголовка до 4 байтов). Эти 10 битов определяют абонентский адрес в сети FR.

Биты «опрос/финал», «команда/ответ» (Command/ Response – C/R) зарезервированы для возможного применения в различных версиях. Часто игнорируются.

Бит расширения адреса (Extended Address – EA). *DLCI* содержится в 10 битах, входящих в два байта заголовка. Однако возможно расширение заголовка на целое число дополнительных байтов с целью указания адреса, состоящего более чем из 10 битов. *EA* устанавливается в конце каждого байта заголовка. Если он имеет значение 1, то это означает, что данный байт в заголовке последний. Стандарт FRF рекомендует использовать заголовки, состоящие из 2 байтов. В этом случае значение бита *EA* первого байта будет 0, а второго – 1.

Бит уведомления (сигнализации) приемника о явной перегрузке (Forward Explicit Congestion Notification – FECN) устанавливается в 1 для уведомления получателя сообщения о том, что произошла перегрузка в направлении передачи кадра. Бит *FECN* устанавливается аппаратурой канала данных (АКД), а не передающим оконечным оборудованием данных (ООД) и может не использоваться терминалами абонентов. Бит *FECN* может устанавливаться в 1, например, когда скорость передачи по виртуальному соединению начинает превышать величину *Vc*. Является рекомендацией приемнику сообщить передатчику (с помощью протоколов верхних уровней) о необходимости снижения скорости передачи.

Бит уведомления (сигнализации) источника о явной перегрузке (Backward Explicit Congestion Notification – BECN) устанавливается в 1 для уведомления источника сообщения о том, что произошла перегрузка в направлении, обратном направлению передачи кадра, содержащего этот бит. Бит *BECN* устанавливается АКД (а не ООД) и может не использоваться терминалами абонентов. Бит *BECN* может устанавливаться в 1, например, когда скорость передачи по виртуальному соединению начинает превышать величину *Vc*. Является рекомендацией передатчику снизить скорость передачи.

Бит разрешения сброса (Discard Eligibility – DE) устанавливается в 1 при явной перегрузке и указывает на то, что данный кадр **может быть** уничтожен в первую очередь. Бит *DE* устанавливает либо АКД, либо ООД (т. е. пользователю предоставлено право выбирать, какими кадрами он может «пожертвовать»). Бит *DE* устанавливается в 1 обычно при

нахождении скорости передачи в диапазоне $V_c < V < V_c + V_e$. При $V > V_c + V_e$ кадры коммутаторами просто уничтожаются. Иногда при перегрузках узлы коммутации сети FR могут уничтожить кадры с неустановленным битом DE .

Информационное поле (I) содержит данные пользователя и состоит из целого числа байтов. Его максимальный размер определен стандартом FRF и составляет 1600 байтов (минимальный размер – 1 байт), но возможны и другие максимальные размеры (вплоть до 4096 байтов). Содержание информационного поля пользователя передается без изменений.

Проверочная последовательность кадра (Frame Check Sequence – FCS) используется для обнаружения возможных ошибок при его передаче и состоит из 2 байтов. Данная последовательность формируется аналогично циклическому коду HDLC.

Все указанные поля должны присутствовать в каждом кадре FR, который передается между двумя оконечными пользовательскими системами.

Одним из основных отличий протокола FR от HDLC является то, что он не предусматривает передачу управляющих сообщений (нет командных или супервизорных кадров, как в HDLC). Для передачи служебной информации используется специально выделенный канал сигнализации. Другое важное отличие – отсутствие нумерации последовательно передаваемых (принимаемых) кадров. Дело в том, что протокол FR не имеет никаких механизмов для подтверждения правильно принятых кадров.

Механизм «дырявого ведра». С помощью механизма «дырявого ведра» коммутатор следит за виртуальными соединениями. Для этого используется счетчик C , подсчитывающий число байтов, поступивших из виртуального канала за время T . Все кадры, сумма байтов которых меньше V_c , отправляются с признаком $DE=0$. Кадры, байты которых попали в интервал от V_c до $V_c + V_e$, отправляются с признаком $DE=1$. Кадры, байты которых превысили величину $V_c + V_e$, уничтожаются. Через каждые T единиц времени счетчик уменьшается на величину V_c или устанавливается в 0, если его величина меньше V_c .

На рис. 9.9 представлена графическая интерпретация работы FR. На этом рисунке использованы следующие обозначения:

- T – интервал времени, для которого определяются параметры CIR , V_c и V_e ;

- B – количество байтов, переданных за время t ;
- R – количество байтов, переданных за время T ;
- $f1, f2, f3, f4, f5$ – кадры, переданные за время T .

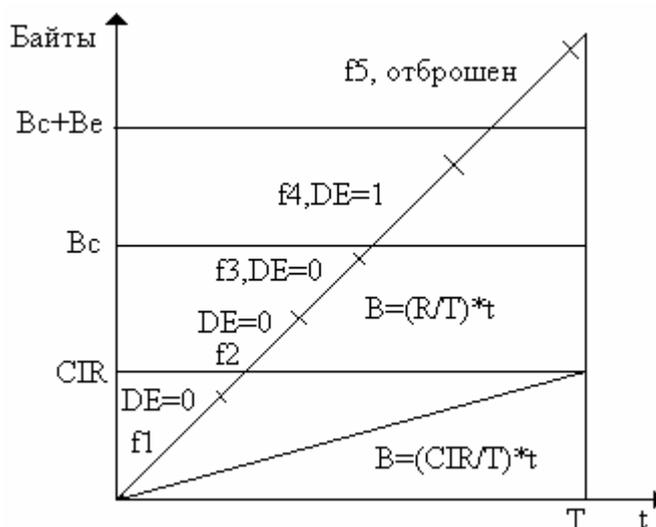


Рис. 9.9. Интерпретация работы FR

Кадры передаются со скоростью $R > (Bc + Be)$. Байты первых трех кадров находятся в пределах скорости Bc . Поэтому эти кадры имеют признак $DE=0$. Четвертый кадр имеет признак $DE=1$. По усмотрению коммутатора он может быть передан или отброшен (в случае перегрузки). Пятый кадр однозначно отбрасывается.

Технология FR не способна **гарантировать** заказанные пользователем параметры качества обслуживания, т.к. использует общие очереди кадров к каналам связи.

10. ВЕРХНИЕ УРОВНИ СПД

На верхних уровнях (начиная с сетевого уровня) локальные и распределенные сети могут использовать одни и те же протоколы, например, протоколы TCP/IP.

10.1. Общая характеристика сетевого уровня

Сетевой уровень относится к третьему уровню иерархии OSI. Основное его назначение состоит в доведении блоков данных (обычно пакетов) до любого абонента сети. С этой целью сетевой уровень выполняет следующие основные функции:

- адресация (создание и поддержка адресного пространства, системы адресации);
- маршрутизация (выбор маршрута для доведения пакета до адресата);
- управление потоками данных, ресурсами сети, нагрузкой на сеть.

Примером организации адресного пространства может служить сеть Internet, использующая с этой целью межсетевой протокол IP (Internet Protocol).

В связи с тем, что на сетевом уровне приходится передавать данные с переприемом, с ретрансляцией пакетов в узлах, а также из-за отсутствия непосредственной связи между узлами, возникает возможность (и проблема) выбора маршрутов. В локальных сетях множество компьютеров используют один и тот же канал связи, возможности альтернативной передачи ограничены, проблемы маршрутизации не так актуальны, как в распределенных сетях. В крупных сетях альтернативные маршруты возникают при наличии разветвленной канальной структуры. Правда, при разветвленной структуре каналы обычно не перегружены, поэтому задача оптимизации маршрутов теряет актуальность.

Маршрутизация является одним из способов управления потоками данных. Другие способы управления связаны с регулированием (повышением или понижением) интенсивности трафика на разных участках в разное время. Необходимость управления трафиком связана, например, с известным фактом, что в какой-то момент времени при повышении коэффициента загрузки системы количество работы, которую она может выполнить, падает

из-за перегрузки. В сетях это происходит из-за того, что в состоянии перегрузки чаще возникают повторные передачи блоков данных, учащаются сбросы соединений.

10.2. Сетевой (пакетный) уровень X.25

Рекомендация X.25 определяет стык между окончательным оборудованием данных (ООД) и аппаратурой канала данных (АКД) для окончательных устройств, работающих в пакетном режиме. Часто ООД называют английским термином DTE (Data Terminal Equipment), а АКД называют DCE (Data-Circuit terminal Equipment – окончательное оборудование сети). Пакеты – блоки данных сетевого уровня, в которые вставляются (инкапсулируются) блоки данных верхнего (транспортного) уровня. Под ООД понимается логическое устройство, которое является начальным (источником) или конечным (получателем) адресатом пакетов формата X.25. Под АКД понимается логическое устройство, которое входит в состав сети X.25 и с которым взаимодействует ООД для передачи пакетов по сети. На рис. 10.1 показаны два основных способа подключения абонентов к сети X.25.

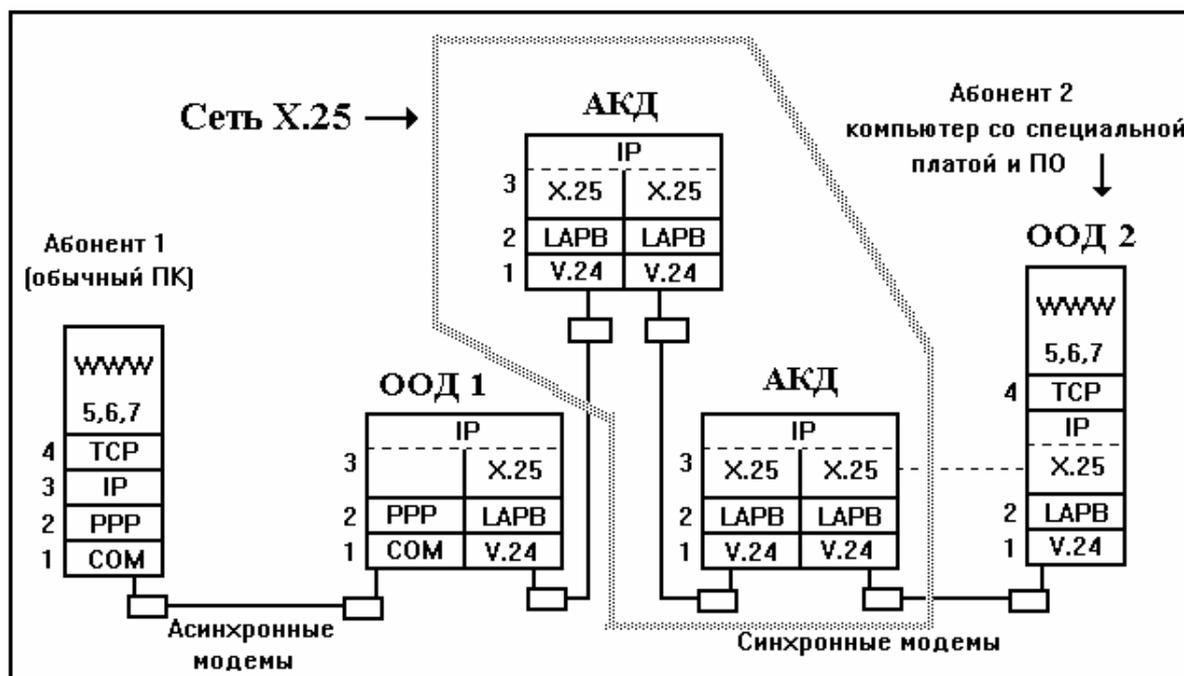


Рис. 10.1. Подключение к сети X.25

Абонент 1 представляет собой обыкновенный персональный компьютер со стандартным стеком протоколов. Стеком протоколов называется совокупность реальных совместимых протоколов. Абонент 1 имеет следующий набор сетевых средств:

- последовательный порт COM;
- протокол PPP (point to point protocol). Протокол PPP служит для установления удаленного двухточечного соединения (например, с провайдером Internet);
- стек протоколов TCP/IP. Является стандартным средством организации передачи данных на сетевом и транспортном уровнях;
- клиенты самой популярной службы Internet – системы WWW. Это программы просмотра файлов формата .html (например, Internet Explorer). Выполняют функции верхних уровней OSI.

Компьютер абонента 1 не содержит средств работы с сетью X.25. Поэтому он не может выступать для этой сети как ООД и для подключения к ней должно использоваться специальное устройство, способное распознавать информацию абонента 1 и «укладывать» ее в пакеты X.25. Таким устройством является ООД1, имеющее два набора различных протоколов. Абонент 1 соединяется с ООД1 с помощью обыкновенного асинхронного модема. ООД1, имея в своем составе протокол X.25 взаимодействует с АКД уже на уровне этого протокола. Такое взаимодействие регламентируется рекомендацией X.25. Компьютер абонента 2 снабжен специальной платой и программным обеспечением, реализующим X.25, а также соответствующие протоколы второго и первого уровней. Поэтому он выступает как ООД для сети X.25 и способен взаимодействовать с АКД на уровне X.25.

На рис. 10.2 представлена процедура установления виртуального канала (соединения) между ООД, предшествующая передаче данных между ними.

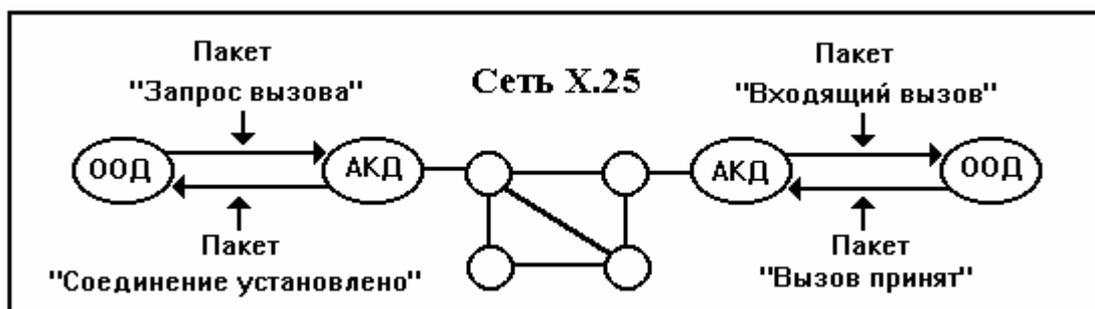


Рис. 10.2. Установление соединения X.25

Соединение называется виртуальным потому, что на данной стадии не осуществляется реального захвата канальных ресурсов. На стадии установки соединения X.25 проверяется готовность обоих ООД, задаются параметры качества обслуживания, присваивается номер логическому каналу, резервируются ресурсы сети.

На рис. 10.3 приведены форматы некоторых пакетов X.25.



Рис. 10.3. Форматы пакетов X.25

В пакетах «Запрос вызова» и «Входящий вызов» поля имеют следующее назначение:

- **ИОФ** – идентификатор общего формата. Задаёт величину модуля для нумерации пакетов (8 или 128);
- **ГНЛК** – групповой номер логического канала, используемого для соединения;
- **НЛК** – номер логического канала;
- **идентификатор типа пакета**. Поле используется для указания типа пакета. Например, пакет «Данные» всегда имеет в крайней левой позиции 0 (правая часть рис. 10.3);
- **длина адреса ООД 1**. Указывает число байтов, используемых для задания адреса вызывающего ООД;
- **длина адреса ООД 2**. Указывает число байтов, используемых для задания адреса вызываемого ООД;

- **адреса ООД.** Поле переменной длины. Используется для указания адресов вызывающего и вызываемого ООД;

- **длина поля услуг.** Указывает число байтов, используемых полем услуг;

- **услуги.** Это поле имеется только в том случае, когда ООД хочет воспользоваться какой-то необязательной, нестандартной услугой;

- **данные верхнего уровня.** Необязательное поле. В этом поле могут передаваться данные пользователя, поступившие с транспортного уровня. Это поле может достигать 128 байтов, если используется услуга ускоренного обмена, и 16 байтов в других случаях. Таким образом, **уже на стадии установления соединения можно передать какую-то порцию данных.** Это свойство пакетов «Запрос вызова» и «Входящий вызов» используется для организации режима **датаграмм**, суть которого заключается в том, что пакеты пользователя передаются по сети в конечную точку независимо друг от друга, без предварительного установления соединения. При этом для каждого пакета в узлах выбирается маршрут для дальнейшего движения.

После установления соединения начинается обмен данными между ООД с помощью пакетов «Данные», формат которых показан в правой части рис. 10.3. Приведенные параметры имеют следующее назначение:

- **Q** – бит, позволяющий выделять две категории пакетов;
- **D** – бит, говорящий о необходимости подтверждения пакетов;
- **M** – бит, позволяющий объединить пакеты в группу (например, пакеты, принадлежащие одному транспортному блоку). Все пакеты кроме последнего в этом случае имеют $M=1$;

P(S) – номер передаваемого пакета;

P(R) – номер ожидаемого пакета;

Данные верхнего уровня. В это поле помещаются данные пользователя сетевой услуги и переносятся по соединению без изменений. Поле данных может содержать от 16 до 4096 байтов, но рекомендуемая его длина 128 байтов.

Сравнивая пакет «Данные» с кадрами HDLC, можно заметить, что при его передаче используется механизм скользящего окна, но не используется проверочная последовательность.

Протокол X.25 (так же, как и HDLC) хорошо зарекомендовал себя на медленных и ненадежных линиях связи. При использовании надежных, высокоскоростных линий (например, на оптоволокне) пару

этих протоколов вполне заменяет более простая технология frame relay.

10.3. Межсетевой протокол IP

Первоначально IP (Internet Protocol) был предназначен для негарантированной доставки блоков транспортного уровня между сетями, использующими разные протоколы сетевого уровня. В настоящее время IP используется и для доставки данных между рабочими станциями локальных сетей.

Компьютеры, имеющие модули IP, включены в единое адресное пространство. При перемещении сверху вниз пакеты IP вставляются в блоки данных нижнего уровня. При перемещении снизу вверх из блоков данных нижнего уровня выделяются пакеты IP. Основное назначение IP-модуля состоит в принятии решения о направлении передачи IP-пакета. Пакет может быть отправлен на верхний уровень компьютера или в один из его портов. Направление передачи определяется с помощью таблицы маршрутизации по присутствующему в пакете адресу получателя.

Соединение сетей с одинаковыми протоколами осуществляется с помощью маршрутизаторов. Соединение сетей с разными протоколами осуществляется с помощью шлюзов, «понимающих» разные протоколы. Современные маршрутизаторы выполняют функции шлюзов, т. к. «понимают» разные протоколы.

При необходимости IP может делить каждый блок и после этого осуществлять сборку на конечном компьютере или маршрутизаторе. К каждому передаваемому пакету данных добавляется заголовок IP и он передается как кадр протоколами более низкого уровня.

В зависимости от структуры сети может существовать несколько маршрутов между передающим и принимающим компьютерами. Каждый маршрутизатор, обрабатывающий пакет, принимает решение о следующем пункте назначения. Различные фрагменты транспортного блока могут пройти разными маршрутами до принимающего компьютера. При этом может получиться так, что они придут не по порядку. В этом случае IP собирает фрагменты в исходной последовательности на принимающем компьютере.

Формат пакета IP версии 4 представлен на рис. 10.4. Поля пакета IP имеют следующее назначение.

Version (версия). Поле *Version* (длиной 4 бита) позволяет отслеживать развитие протокола. Для правильной обработки заголовка пакета принимающая и передающая стороны должны договориться о версии протокола. В разбираемой версии в этом поле находится число 4 (0100).

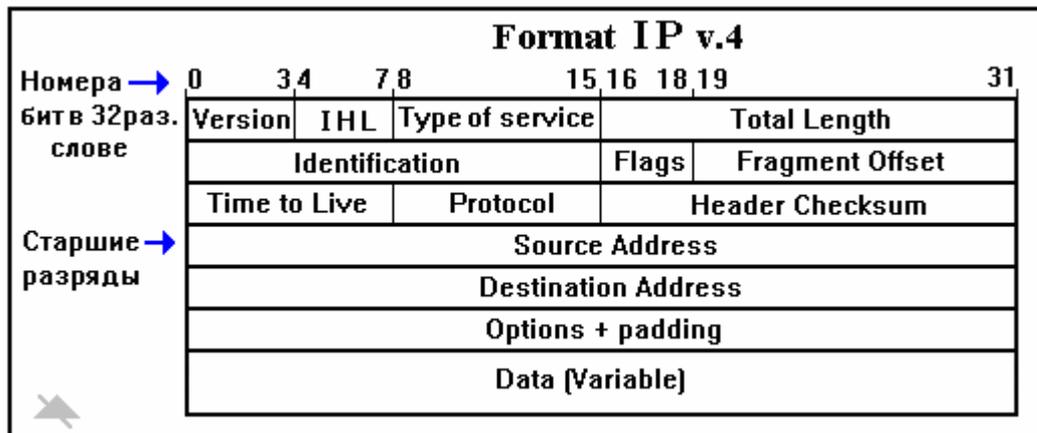


Рис. 10.4. Формат пакета IP

Version (версия). Поле *Version* (длиной 4 бита) позволяет отслеживать любое развитие протокола. Для правильной обработки заголовка пакета принимающая и передающая стороны должны договориться о версии протокола. Для разбираемой версии в этом поле находится число 4 (0100).

IP Header Length (длина заголовка). Поле *IHL* (длиной 4 бита) определяет длину заголовка в 32-битных словах.

Type of service (тип сервиса). Это поле (длиной 8 бит) позволяет протоколам верхнего уровня задавать вид, качество обслуживания. Старшие три бита (8, 9, 10) задают приоритет. Одиннадцатый бит 32-разрядного слова задает уровень задержки, двенадцатый бит задает уровень производительности, тринадцатый бит задает уровень надежности. Остальные два бита зарезервированы. Наличие нулей в поле **type of service** означает отсутствие каких-либо специальных требований к качеству обслуживания пакета.

Total Length (общая длина). Поле имеет длину 16 бит и указывает в байтах общую длину пакета, включая заголовок и данные. Рекомендуемая длина IP пакетов – 576 байтов.

Identification (идентификация). Поле имеет длину 16 бит. Используется для разбиения исходного IP-пакета (сегмента) на более мелкие IP-пакеты (фрагменты) в узле-отправителе и сборки

исходного пакета из фрагментов в узле-получателе. Фрагменты, имеющие одинаковое значение **identification**, принадлежат одному сегменту, исходному IP-пакету.

Flags (флаги). Поле состоит из трех битов. Старший (шестнадцатый) бит резервный, должен иметь нулевое значение. Если бит 17 (бит *DF*, Dount Fragment) установлен в 1, то это означает, что данный IP-пакет не может быть фрагментирован (разделен). Если бит 18 флага (бит *MF* – More Fragments – еще фрагменты) установлен в 1, то это означает, что данный IP-пакет не является последним в сегменте, есть еще фрагменты.

Fragment Offset (смещение фрагмента). Поле имеет 13 бит. Используется для упорядочения фрагментов в сегменте. Модуль IP на принимающем компьютере использует это поле для сборки фрагментов сегмента. Если хотя бы один фрагмент не получен, все остальные фрагменты отбрасываются и сегмент считается не принятым.

Time to live (время жизни). Поле имеет 8 бит. Представляет собой счетчик, который ограничивает время существования пакета. Он уменьшается по крайней мере на единицу каждый раз, когда пакет обрабатывается маршрутизатором. Когда счетчик достигает нуля, пакет уничтожается. Такие действия предотвращают движение пакета по бесконечному циклу в сети.

Protocol (протокол). Поле имеет 8 бит. Задаёт протокол верхнего уровня (например, TCP), используемый для обработки IP-пакета.

Header Checksum (контрольная сумма заголовка). Поле имеет 16 бит. Используется для определения целостности заголовка. Если рассчитанная в узле-приемнике контрольная сумма не совпадает с суммой в принимаемом IP-пакете, этот пакет уничтожается. Поскольку поле **time to live** изменяется при проходе через маршрутизатор, контрольная сумма в нем пересчитывается и перезаписывается.

Source Address (адрес отправителя). Поле содержит 32 бита. Представляет собой IP-адрес того узла, который явился источником данных, переносимых в IP-пакете.

Destination Address (адрес получателя). Поле содержит 32 бита. Представляет собой IP-адрес того узла, которому предназначены данные, переносимые в IP-пакете.

Options (дополнительные услуги). Поле **options** может быть переменного размера и используется для поддержки различного рода

написание IP-адресов, состоящее из четырех частей, отделенных точкой.

Некоторые IP-адреса являются выделенными и трактуются по-особому. Эти адреса приведены в табл. 1.

Таблица 1

Специальные IP-адреса

IP - адрес	Значение
Все нули 0.0.0.0	Адрес по умолчанию
Адрес сети . Все нули 156.75.0.0	Данная IP – сеть (адрес сети)
Все нули . Адрес узла 0.0.74.25	Узел в данной (локальной) IP - сети
Все единицы 255.255.255.255	Все узлы в данной (локальной) IP - сети
Адрес сети . Все единицы 156.75.255.255	Все узлы в указанной сети
127.Что-нибудь 127.0.0.1	«Петля» Адресация самому себе

При использовании сегментирования сетей возникают проблемы с использованием адресов класса C. При сегментировании (разделении сетей на подсети) приходится резервировать несколько старших разрядов последнего байта для указания адреса сегмента. В этом случае остается мало адресов для узлов. На решение этой проблемы направлена новая версия (V.6) IP-пакета, в которой под адрес выделяется 16 байтов.

Указывать в приложениях адреса в цифровой форме оказывается часто неудобно. Поэтому в Internet существует система назначения соответствия IP-адресов их отображению в алфавитно-цифровом виде. Эта система называется «доменная система имен» (DNS – Domain Name System).

До 1980г. сеть ARPANET состояла лишь из нескольких сотен компьютеров. Все соответствия имен и адресов компьютеров хранились в одном текстовом файле Hosts.txt. Этот файл находился на центральном компьютере сети (Stanford Research Institute Network Information Center) в Менло-Парк, штат Калифорния. Другие компьютеры по мере необходимости периодически считывали данные

этого файла для реализации маршрутизации. По мере роста сети возникли следующие проблемы:

- файл Hosts.txt стал очень большим;
- приходилось его часто обновлять;
- центральный узел стал перегружен;
- из-за использования одноуровневого пространства имен имя каждого компьютера сети должно быть уникальным.

DNS представляет собой метод назначения имен путем возложения на разные группы пользователей ответственности за подмножество имен. Домены отделяются друг от друга точками. Например, в адресе omsu.omsreg.ru присутствуют 3 домена. Домен ru означает Россию. Левый в адресе домен является подмножеством правого домена. Крайние справа домены наиболее крупные. Адрес DNS называется URL (Uniform Resource Locator – универсальный указатель ресурса).

Регистрацией и поддержкой доменных зон ведает организация ICANN (The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers <http://www.icann.org>).

Например, домен com, стоящий в адресе крайним справа, означает, что данный адрес принадлежит, скорее всего, коммерческой организации, а наличие на этом месте домена edu говорит обычно о принадлежности данного адреса учебному заведению. Иерархия доменов приведена на рис.10.6.

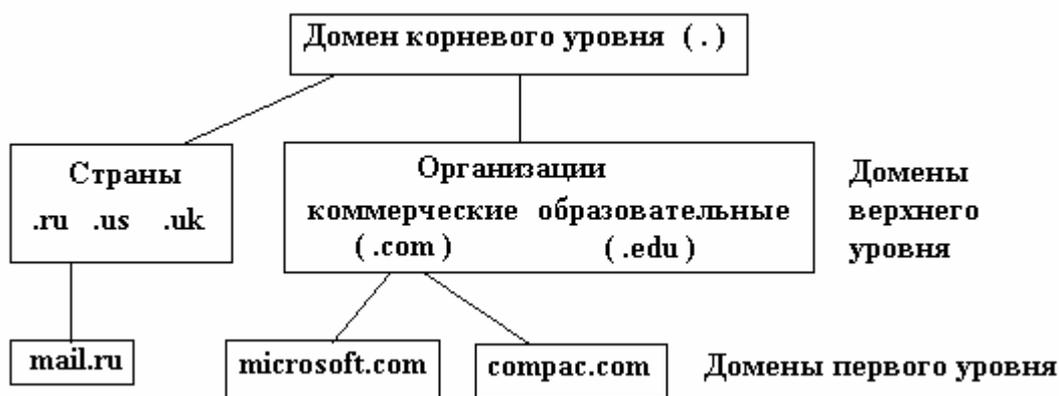


Рис. 10.6. Структура пространства DNS

На верхнем уровне находится абстрактный домен с нулевой (пустой) меткой. Ссылки на него можно задавать точкой.

Различают **основной** сервер имен (**основной DNS**) и **резервный** сервер имен (**резервный DNS**). Изменения в параметрах зоны,

например добавление узла или домена, выполняются на основном сервере имен. Основной сервер периодически дублирует базу данных и передает ее резервному. Наличие двух серверов позволяет повысить надежность обработки информации.

10.4. Пример IP-маршрутизации

На рис. 10.7 показана типовая СПД организации. Две локальные сети объединяются с помощью маршрутизатора M1, который обеспечивает соединение с провайдером и подключение к сети сотрудников, работающих дома. Для соединения с провайдером используются выделенная телефонная линия и модем ADSL. Домашние пользователи Internet соединяются с организацией по коммутируемому телефонному каналу. В организации для них выделены N модемов.

Предположим, для организации выделен диапазон адресов, определяемых адресом класса C (195.76.129.0). В организации решили старшие два бита последнего байта использовать для адресации подсетей. Поэтому необходимо использовать маску сетевого адреса 255.255.255.192 (192=11000000). Совокупность маски и адреса определяют множество адресов. Например, двоичные единицы маски могут показывать, где заканчивается адрес сети и начинается адрес узла.

В организации распределили IP-адреса подсетей следующим образом.

195.76.129.0 – сеть домашних пользователей.

195.76.129.64 – сеть на витой паре.

195.76.129.128 – сеть на коаксиальном кабеле.

195.76.129.192 – сеть Internet.

После этого были назначены IP-адреса портам маршрутизатора M1 (см. рис. 10.7). В этом случае таблица маршрутизации для маршрутизатора M1 может выглядеть, например, как в табл. 2. Вид таблицы маршрутизации зависит от используемой операционной системы.

Назначение столбцов таблицы. Первый столбец задает сетевой IP-адрес.

Второй столбец задает маску.

Третий столбец указывает адрес ближайшего маршрутизатора (шлюза), находящегося на пути к требуемой сети.

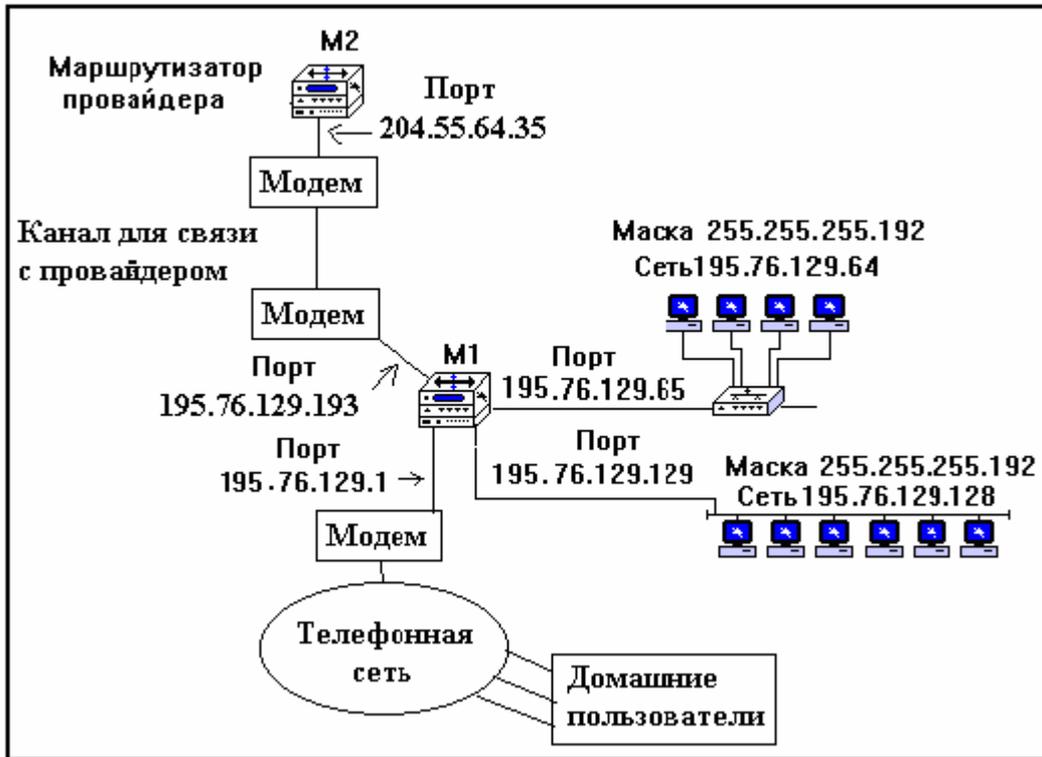


Рис. 10.7. Распределение IP-адресов

Таблица 2

Таблица маршрутизации

Network Address	Netmask	Gateway Adress	Interface	Metric
0.0.0.0	0.0.0.0	204.55.64.35	195.76.129.193	1
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
195.76.129.64	255.255.255.192	195.76.129.65	195.76.129.65	1
195.76.129.65	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
195.76.129.127	255.255.255.255	195.76.129.65	195.76.129.65	1
195.76.129.128	255.255.255.192	195.76.129.129	195.76.129.129	1
195.76.129.129	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
195.76.129.191	255.255.255.255	195.76.129.129	195.76.129.129	1
195.76.129.66	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
195.76.129.0	255.255.255.192	195.76.129.1	195.76.129.1	1
195.76.129.1	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
224.0.0.0	224.0.0.0	224.76.129.129	224.76.129.129	1
255.255.255.255	255.255.255.255	195.76.129.129	195.76.129.129	1

Четвертый столбец указывает IP-адрес сетевого порта маршрутизатора. Он используется для выбора порта, в который маршрутизатор должен направить обрабатываемый пакет.

Пятый столбец задает метрику (число маршрутизаторов, находящихся на пути к требуемой сети).

Назначение строк таблицы. Первая строка (не считая строки заголовков) задает порт по умолчанию. В данном случае все пакеты, не принадлежащие локальным сетям организации, будут направлены в Internet через маршрутизатор M1 провайдеру.

Вторая строка позволяет маршрутизатору адресовать пакеты самому себе (например, при отладке, диагностике). Такие пакеты не будут поступать на канальный уровень, не будут покидать маршрутизатор.

Третья строка задает путь для пакетов, поступающих в сеть с адресом 195.76.129.64. Сочетание IP-адреса 195.76.129.64 с маской 195.76.129.192 задает множество IP-адресов сети.

Четвертая, седьмая, девятая и одиннадцатая строки обеспечивают обработку пакетов, предназначенных маршрутизатору. Такие пакеты не будут покидать маршрутизатор.

Пятая строка обеспечивает широковещательную передачу (передачу всем узлам сети) пакета по сети с адресом 195.76.129.64, (127=01'111111). Напомним, что широковещательный адрес образуется добавлением к адресу сети единиц. В данном случае битами 01 заканчивается адрес сети.

Шестая строка задает путь для пакетов, поступающих в сеть с адресом 195.76.129.128.

Восьмая строка обеспечивает широковещательную передачу пакета по сети с адресом 195.76.129.128 (191=10'111111).

Десятая строка задает порт, используемый для передачи пакетов домашним пользователям.

Двенадцатая строка задает порт, через который направляются пакеты с групповым адресом класса D. Устройства, имеющие одинаковый адрес класса D, объединяются в группу.

Тринадцатая строка говорит о том, что для маршрутизатора M1 под понятием «данная сеть» понимается сеть 195.76.129.128. Пакеты с адресом 255.255.255.255 передаются всем компьютерам сети 195.76.129.128.

Существует несколько источников, поставляющих записи в таблицу маршрутизации. Во-первых, при инициализации программное обеспечение стека TCP/IP заносит в таблицу записи о непосредственно подключенных сетях и маршрутизаторах по умолчанию, а также записи об особых адресах. Во-вторых,

администратор вручную заносит статические записи о специфичных маршрутах или о маршрутизаторе по умолчанию. В-третьих, протоколы маршрутизации автоматически заносят в таблицу динамические записи об имеющихся маршрутах.

После того, как маршрутизатор определит порт для передачи пакета, он должен сформировать кадр и записать в него адрес приемника канального уровня. Соответствие между IP-адресами и адресами канального уровня (например, MAC-адресами) задаются с помощью протокола и таблицы ARP (Address Resolution Protocol).

10.5. Стек TCP/IP

Протокол TCP (Transmission Control Protocol – протокол управления передачей) является наиболее популярным протоколом транспортного уровня. Стек протоколов TCP/IP не только обеспечивает функционирование сети Internet, но приобретает все большую популярность в локальных сетях, например для построения Intranet.

Следует различать понятия протоколы TCP, IP и стек TCP/IP. Понятие стек TCP/IP постоянно развивается, в него включаются все новые службы и протоколы.

Протоколы TCP/IP были разработаны Стэнфордским университетом и фирмой BB&N в середине 1970-х годов. Разработка оплачивалась министерством обороны США, агентством по передовым исследовательским проектам ARPA (Advanced Research Projects Agency). Этим агентством для связи между государственными структурами, университетами и исследовательскими институтами использовалась сеть ARPANET. Был необходим набор протоколов для связи между различными устройствами и сетями. Набор протоколов TCP/IP разрабатывался как раз для этих нужд.

В 1978 – 1979 гг. разработка набора протоколов TCP/IP была полностью завершена. В 1980 г. началась установка и использование протоколов TCP/IP на устройствах в сети ARPANET. В январе 1983 г. ARPA настояло на том, чтобы все устройства ARPANET использовали TCP/IP. Термин ARPANET используется и сейчас применительно к той части Internet, которую министерство обороны использует для своих исследований и разработок.

Сегодня, несмотря на появление других различных стандартов, коммерческое использование протоколов TCP/IP продолжает расти. Одновременная замена всей установленной базы TCP/IP была бы неэффективна экономически.

В стеке TCP/IP различают 4 уровня, приведенные на рис. 10.8. Следует различать понятия *протокол* и *служба*, хотя они и имеют одинаковые названия (правая часть рисунка). Сопоставление уровней OSI и уровней стека TCP/IP весьма условно [4]. Во многих специальных источниках этого вообще не делается.

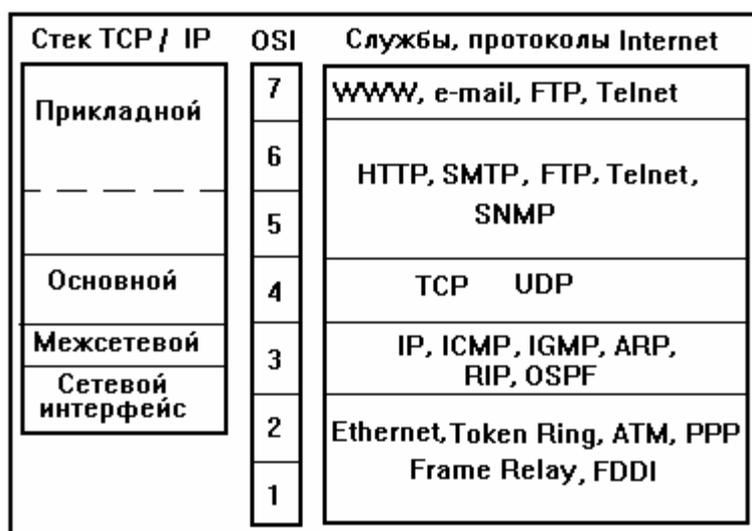


Рис. 10.8. Структура стека TCP/IP

PPP (Point to Point Protocol) – один из популярных протоколов для соединения удаленных клиентов с серверами (домашних пользователей с провайдерами) и для соединения маршрутизаторов, находящихся на большом расстоянии друг от друга. Является развитием (упрощением) HDLC. Совместим со многими протоколами. Использует нумерованные кадры HDLC.

IP (Internet Protocol) – протокол для негарантированной доставки данных между узлами и сетями.

ICMP (Internet Control Message Protocol) – протокол для отправки сообщений об ошибках, связанных с доставкой пакетов.

IGMP (Internet Group Management Protocol) – протокол для групповой рассылки сообщений.

ARP (Address Resolution Protocol) – протокол, поддерживающий соответствия между адресами канального уровня и адресами IP.

RIP (Routing Information Protocol) – протокол обмена маршрутной информацией.

OSPF (Open Shortest Path First) – открытый протокол «кратчайший путь первым». Собирает информацию о кратчайших путях и строит маршрутные таблицы.

UDP (User Datagram Protocol) – протокол для быстрой доставки коротких сообщений (обычно служебных). Например, серверы DNS обычно обмениваются информацией с помощью сообщений протокола UDP.

TCP (Transmission Control Protocol) – протокол управления передачей. Обеспечивает надежную передачу данных между удаленными процессами (узлами) по предварительно установленным логическим соединениям. Отслеживает потерю информации, реализует квитирование, повторную передачу данных.

HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) – протокол передачи гипертекстов. Лежит в основе службы WWW.

SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) – простой протокол передачи почты. Предназначен для надежной и эффективной передачи почтовых сообщений. Лежит в основе различных почтовых служб.

SNMP (Simple Network Management Protocol) – простой протокол управления сетью. Основным назначением протокола является обеспечение удаленного управления сетевыми устройствами (например, маршрутизаторами).

Telnet – протокол виртуального терминала. Основная цель протокола состоит в предоставлении стандартных способов удаленных взаимодействий типа «терминал – процесс», «терминал – терминал», «процесс – терминал».

FTP (File Transfer Protocol) – протокол передачи файлов. Основное назначение протокола состоит в обеспечении стандартных способов выполнения в сетях различных операций с файлами, в том числе:

- надежная и эффективная передача файлов;
- коллективное использование файлов удаленными пользователями;
- сокрытие от пользователя особенностей файловой системы удаленной ЭВМ.

Службы, основанные на основе протокола FTP, FTP-серверы обеспечивают доступ к кладовым файлов.

UDP (User Datagram Protocol) – протокол передачи датаграмм пользователя.

TCP (Transmission Control Protocol) – протокол управления передачей.

WWW (World Wide Web) – Всемирная паутина. Самая популярная на сегодняшний день служба Интернет.

Службы Интернет постоянно развиваются. Их становится все больше. Формат блока данных TCP (транспортного блока) приведен на рис. 10.9.

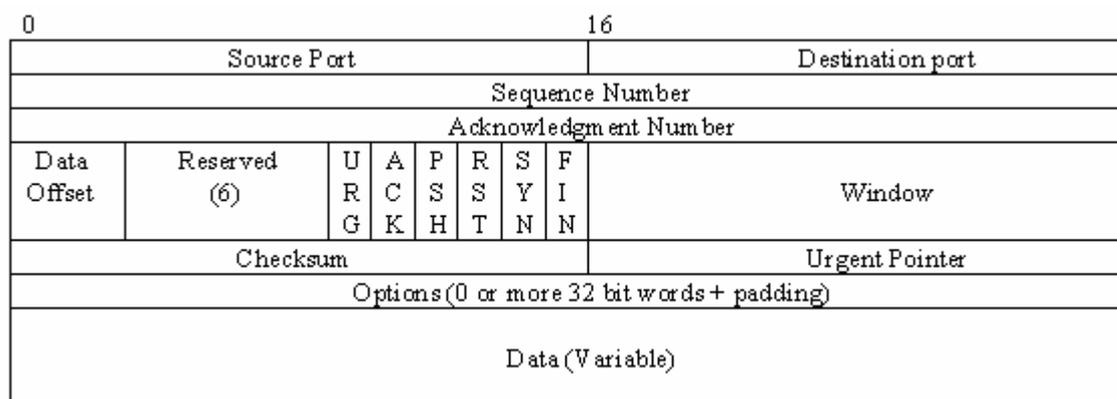


Рис. 10.9. Формат блока TCP

Поля блока TCP имеют следующее назначение:

Source Port. Порт источника. Поле Source Port определяет используемый протокол (процесс) верхнего уровня в источнике блока. Существует список стандартных номеров портов, используемых распространенными протоколами верхнего уровня. Например, процесс FTP имеет порт с номером 21, у процесса DNS порт с номером 53, процесс Telnet адресуется портом 23.

Destination Port. Порт получателя. Аналогичен предыдущему полю, но определяет протокол получателя блока.

Sequence Number. Последовательный номер. Несколько блоков TCP могут переносить одну большую порцию данных верхнего уровня. В этом случае порция разбивается на части и помещается в поля **Data** нескольких блоков. Байты порции данных нумеруются последовательно. Первый байт поля Data соответствует какому-то байту переносимой порции данных, имеющему конкретный номер. Именно этот номер записывается в поле Sequence Number. При использовании этого поля описанным образом должен быть установлен в единицу бит *SYN*.

Acknowledgment Number. Номер подтверждения. Содержит номер байта встречного потока данных, который ожидается принять. Одновременно подтверждает принятие байтов с меньшими номерами. При использовании этого поля должен быть установлен бит *ACK*.

Data Offset. Смещение данных. Четырехбитное поле *Data Offset* определяет количество 32-битных слов в заголовке TCP. Длина заголовка может меняться, поскольку длина поля *Options* (описанного ниже) имеет переменный размер.

Reserved. Резерв. Это шестибитное поле зарезервировано для использования в будущем. Все реализации TCP должны устанавливать это поле в 0.

Flags. Флаги. Биты флагов несут различную управляющую информацию. Эти биты используются для создания, завершения и управления соединением. Существуют следующие виды флагов.

URGent означает, что данные в поле «Указатель срочности» (описанном ниже) действительны.

ACKnowledge означает, что данные в поле «Номер подтверждения» (описанном выше) действительны.

PuSH на передающей стороне требует немедленной передачи данных протоколам нижнего уровня. Для принимающей стороны говорит о необходимости немедленной передачи данных протоколам верхнего уровня. Обычно TCP позволяет собирать данные между соседними протоколами и передавать их по своему усмотрению. Функция **PuSH** заставляет обходить это правило.

ReSeT сбрасывает транспортное соединение в начальное состояние. Обычно это необходимо в случае ошибочной ситуации.

SYNchronize устанавливается получателем и отправителем при обмене первыми блоками. Установка этого флага говорит о желании установить и синхронизировать виртуальное соединение. Для установления соединения используется «трехшаговое рукопожатие». При этом инициатор соединения посылает блок с установленным битом *SYN* и начальным номером последовательности, установленным в некоторое значение X . Получатель отвечает блоком, в котором установлены флаги *SYN* и *ACK*. Поле номера подтверждения в этом блоке равно $X+1$ и поле номера последовательности равно некоторой величине Y . Инициатор соединения отвечает блоком, в котором установлен флаг *ACK* и поле номера подтверждения равно $Y+1$. После этого соединение считается

успешно установленным. Единицей нумерации в ТСП является байт, в отличие, например, от процедур HDLC, в которых нумеруются кадры.

FINish говорит о том, что передающая сторона не имеет больше данных для передачи и соединение может быть сброшено.

Window. Окно. 16-битное поле *Window* определяет количество байтов данных, которое принимающая сторона может получить дополнительно к уже принятым, определенным в поле *Acknowledgment Number*. Это поле совместно с полями *Sequence Number* и *Acknowledgment Number* реализует механизм «скользящего окна» на уровне байтов (а не на уровне кадров и пакетов, как это было в ранее рассмотренных протоколах).

Checksum. Проверочная сумма. Это 16-битное поле служит для обнаружения искажений битов блока. Если рассчитанная контрольная сумма не совпадает с указанной в блоке, блок отбрасывается.

Urgent Pointer. Указатель срочности. 16-битное поле *Urgent Pointer* содержит значение смещения, рассчитанное с использованием номеров последовательностей пакетов, которое определяет, где в потоке данных могут находиться срочные данные. На самом деле значение в этом поле указывает на байт, следующий за последним байтом срочных данных. Срочные данные – это данные, которые протоколы верхнего уровня считают важными. Обычно это какая-либо управляющая информация. ТСП не принимает никаких действий с этими данными.

Options. Модификаторы. Поле *Options* имеет произвольную длину и служит для задания дополнительных параметров.

Padding. Заполнитель. Служит для дополнения поля *Options* до целого числа байтов.

При открытии и закрытии соединений между приложениями с помощью протокола ТСП в зависимости от поведения сторон могут возникать самые различные ситуации. Упрощенно процесс открытия соединения можно представить следующей последовательностью действий.

1. Инициатор соединения посылает запрос к протоколу ТСП на открытие порта для передачи.

2. После открытия порта протокол ТСП на стороне приложения-инициатора посылает запрос приложению, с которым требуется установить соединение (принимающей стороне).

3. Протокол ТСР на принимающей стороне открывает порт для приема данных и отправляет квитанцию, подтверждающую прием запроса.

4. Принимающая сторона открывает порт для передачи и также передает запрос к противоположной стороне.

5. Приложение-инициатор открывает порт для приема и возвращает квитанцию. С этого момента соединение считается установленным.

Таким образом, протокол ТСР дублирует некоторые функции сетевого и канального уровней (управление потоком данных, повторная передача утерянных данных).

Библиографический список

1. Крук Б.И., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети: учебное пособие / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов. – Новосибирск: Изд-во Сиб. предприятие «Наука» РАН, 1998. – 647 с.

2. Блэк Ю. Сети ЭВМ: Протоколы, стандарты, интерфейсы: пер. с англ. / Б. Блэк.– М.: Мир, 1990. – 506 с.

3. Компьютерные сети: учебный курс / Microsoft Corporation: пер. с англ. – М.: Издательский отдел “Русская редакция” ТОО “Channel Trading Ltd.”, 1997. – 696 с.

4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: уч. для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Изд-во «Питер», 2006. – 672 с.

5. Бройдо В. Л., Ильина О.П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебное пособие / В.Л. Бройдо, О.П. Ильина. – СПб.: Питер, 2008. – 766 с.

6. Пятибратов А.П., Гудыно Л.П., Кириченко А.А. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебник / А.П. Пятибратов, Л.П. Гудыно, А.А. Кириченко. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 512 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Топологии сетей передачи данных.....	3
2. Передача сигналов по телефонным каналам.....	11
3. Кабели, линии, каналы связи.....	21
4. Принципы многоканальной передачи.....	26
5. Эталонная модель взаимосвязи открытых систем.....	31
6. Нижние уровни локальных сетей	43
7. Нижние уровни Ethernet	49
8. Физический уровень распределенных сетей.....	61
9. Канальный уровень распределенных сетей.....	65
10. Верхние уровни СПД.....	79
Библиографический список.....	99

Учебное издание

Андрей Михайлович Пуртов

СИСТЕМЫ И СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Учебное пособие

Редактор И.Г. Кузнецова

Подписано к печати 27.05.10
Формат 60×90 1/16. Бумага писчая
Оперативный способ печати
Гарнитура Times New Roman
Усл. п. л. 6,25, уч.-изд. л. 4,5
Тираж 100 экз. Заказ № ____
Цена договорная

Издательство СибАДИ
644099, г. Омск, ул. П.Некрасова, 10

Отпечатано в подразделении ОП
издательства СибАДИ