

Тема 3

Общие принципы организации
цифровых сетей

Содержание темы

- Топология сети.
- Принципы:
 - адресации,
 - маршрутизации,
 - мультиплексирования/демультиплексирования.
- Коммутация каналов.
- Коммутация пакетов.
- Сравнительный анализ сетей с двумя способами коммутации.
- Классификация сетей.

Топология сети

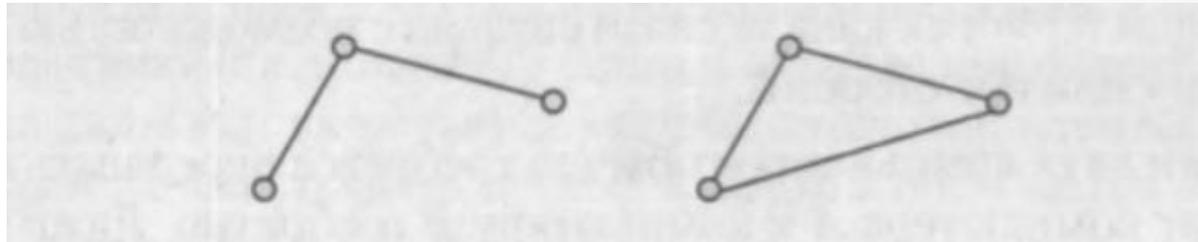
Объединяя в сеть несколько (больше двух) узлов, необходимо решить, каким образом соединить их друг с другом, другими словами, выбрать конфигурацию физических связей, или топологию.

Под **топологией сети** понимается конфигурация графа, вершинам которого соответствуют конечные узлы сети (например, компьютеры) и коммуникационное оборудование (например, маршрутизаторы), а ребрам - физические или информационные связи между вершинами.

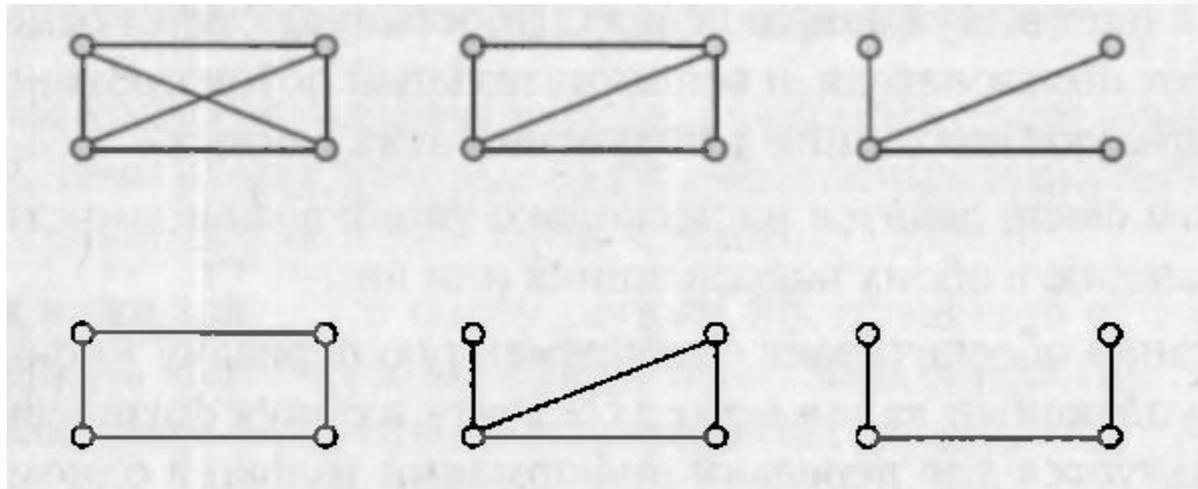
Топология сети

Число возможных вариантов конфигурации резко возрастает при увеличении числа связываемых узлов.

3 узла:



4 узла:



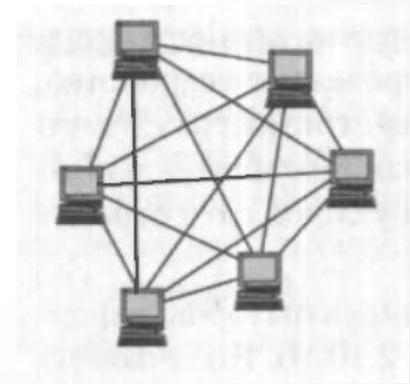
Топология сети

Общее максимальное количество соединительных линий между устройствами рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{N \cdot (N - 1)}{2}$$

где N – количество узлов сети;
 L – количество соединительных линий.

Такая топология называется **полносвязной**.
При увеличении числа узлов резко возрастает количество соединительных линий. Это экономически не эффективно!



$$N = 6; L = 15.$$

Топология сети

От выбора топологии связей существенно зависят характеристики сети.

Наличие между узлами нескольких путей повышает **надежность** сети и делает возможным распределение загрузки между отдельными каналами.

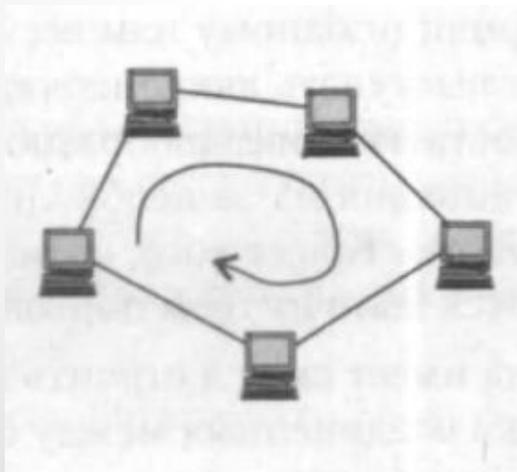
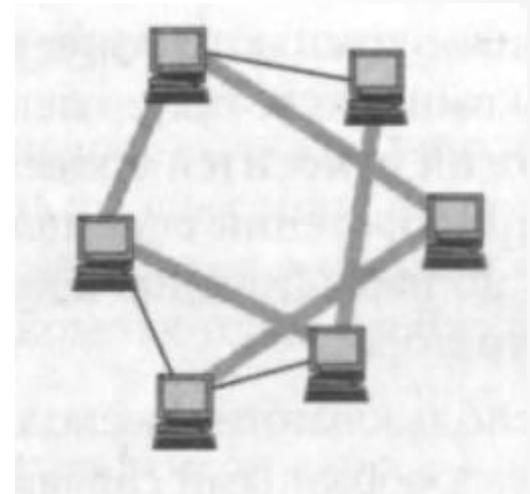
Простота присоединения новых узлов, свойственная некоторым топологиям, делает сеть **легко расширяемой**.

Экономические соображения часто приводят к выбору топологий, для которых характерна минимальная суммарная длина линий связи.

Топология сети

Базовые топологии телекоммуникационных сетей:

Ячеистая топология получается из полностью связной путем удаления некоторых связей. Она допускает соединение большого количества узлов и характерна, как правило, для крупных сетей.

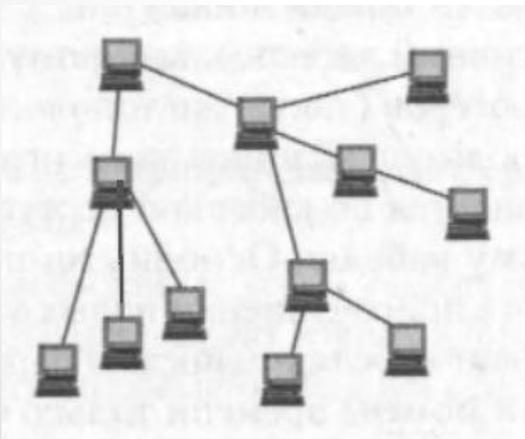
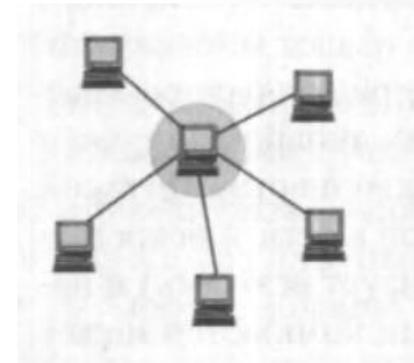


В сетях с **кольцевой топологией** данные передаются по кольцу от одного узла к другому. Главным достоинством кольца является то, что оно по своей природе обеспечивает резервирование связей.

Топология сети

Базовые топологии телекоммуникационных сетей:

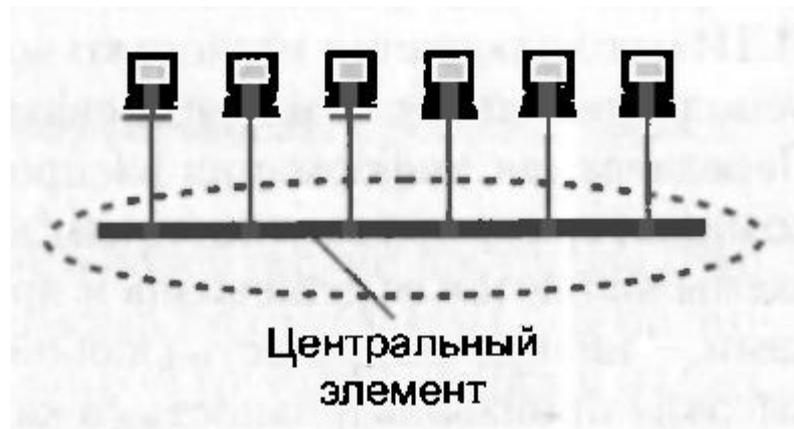
Звездообразная топология образуется в случае, когда каждый узел сети подключается непосредственно к общему центральному устройству, называемому **концентратором (Hub)**.



Иногда имеет смысл строить сеть с использованием нескольких концентраторов, иерархически соединенных между собой звездообразными связями. Получаемую в результате структуру называют **иерархической звездой**, или **деревом**.

Топология сети

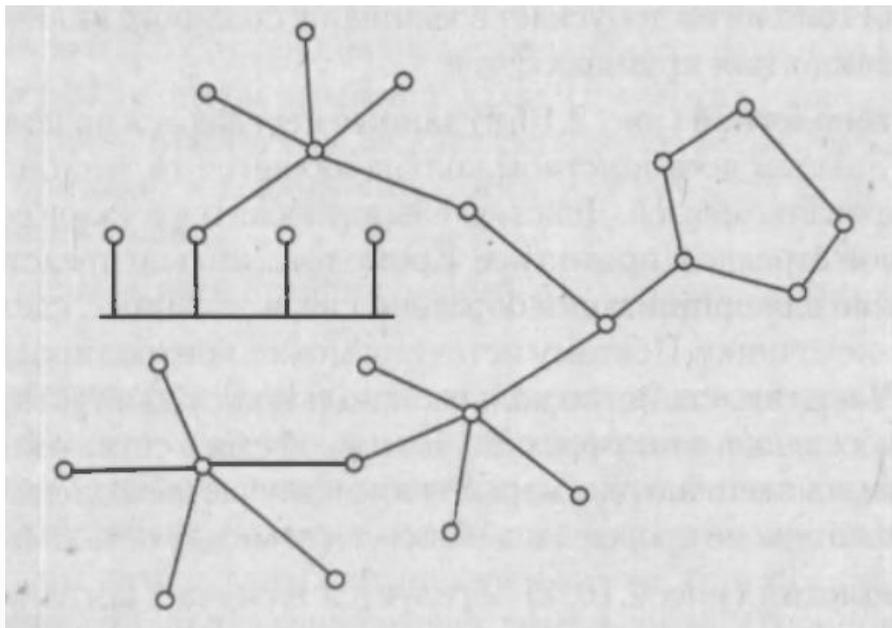
Базовые топологии телекоммуникационных сетей:



Особым частным случаем звезды является **общая шина**. Здесь в качестве центрального элемента выступает пассивный кабель, к которому по схеме «монтажного ИЛИ» подключается несколько компьютеров (такую же топологию имеют многие сети, использующие беспроводную связь - роль общей шины здесь играет общая радиосреда).

Топология сети

Для крупных сетей характерно наличие произвольных связей между узлами. В таких сетях можно выделить отдельные произвольно связанные фрагменты (подсети), имеющие типовую топологию, поэтому их называют сетями со **смешанной топологией**.



Принципы адресации

Адрес при организации адресации сети присваивается не узлу сети, а его сетевому интерфейсу.

Один узел может иметь несколько сетевых интерфейсов.

Например, для создания полносвязной структуры из N узлов необходимо, чтобы у каждого из них имелся $N - 1$ сетевой интерфейс.

Принципы адресации

По количеству адресуемых интерфейсов адреса можно классифицировать следующим образом:

- **уникальный адрес** (unicast) используется для идентификации отдельных интерфейсов;
- **групповой адрес** (multicast) идентифицирует сразу несколько интерфейсов, поэтому данные, помеченные групповым адресом, доставляются каждому из узлов, входящих в группу;
- данные, направленные по **широковещательному адресу** (broadcast), должны быть доставлены всем узлам сети;
- **адрес произвольной рассылки** (anycast), определенный в новой версии протокола IPv6, так же, как и групповой адрес, задает группу адресов, однако данные, посланные по этому адресу, должны быть доставлены не всем адресам данной группы, а любому из них.

Принципы адресации

Адреса могут быть:

- **ЧИСЛОВЫМИ**

(например, 129.26.254.254 или 00:81:00:5e:24:a8);

- **СИМВОЛЬНЫМИ**

(например, bsut.by).

Множество всех адресов, которые являются допустимыми в рамках некоторой схемы адресации, называется **адресным пространством**. Адресное пространство может иметь плоскую (линейную) или иерархическую организацию.

Принципы адресации

При **плоской организации** множество адресов никак не структурировано.

Примером плоского числового адреса является **MAC-адрес**, предназначенный для однозначной идентификации сетевых интерфейсов в локальных сетях.

00:81:00:5e:24:a8

При **иерархической организации** адресное пространство структурируется в виде вложенных друг в друга подгрупп, которые, последовательно сужая адресуемую область, в конце концов, определяют отдельный сетевой интерфейс.

Типичными представителями иерархических числовых адресов являются сетевые **IP-адреса**.

129.26.254.254

Принципы адресации

На практике обычно применяют сразу несколько схем адресации, так что сетевой интерфейс компьютера может одновременно иметь несколько адресов-имен.

Каждый адрес задействуется в той ситуации, когда соответствующий вид адресации наиболее удобен.

Для преобразования адресов из одного вида в другой используются специальные вспомогательные протоколы, которые называют **протоколами разрешения адресов**.

Например, **Address Resolution Protocol (ARP)** – протокол для установления зависимости между локальным адресом (MAC-адресом) и IP-адресом.

Принципы адресации

Проблема установления соответствия между адресами различных типов может решаться как централизованными, так и распределенными средствами.

При **централизованном** подходе в сети выделяется один или несколько узлов (серверов имен), в которых хранится таблица соответствия имен различных типов.

При **распределенном** подходе каждый узел сам хранит все назначенные ему адреса разного типа и при широковещательном запросе дает ответ (ARP).

Принципы маршрутизации

Задача маршрутизации включает в себя две подзадачи:

- определение маршрута;
- оповещение сети о выбранном маршруте.

Определить маршрут означает выбрать последовательность транзитных узлов и их интерфейсов, через которые надо передавать данные, чтобы доставить их адресату.

Принципы маршрутизации

Определение маршрута - это сложная задача, особенно когда конфигурация сети такова, что между парой взаимодействующих сетевых интерфейсов существует множество путей.

Чаще всего выбор останавливают на одном **ОПТИМАЛЬНОМ** по некоторому критерию маршруте.

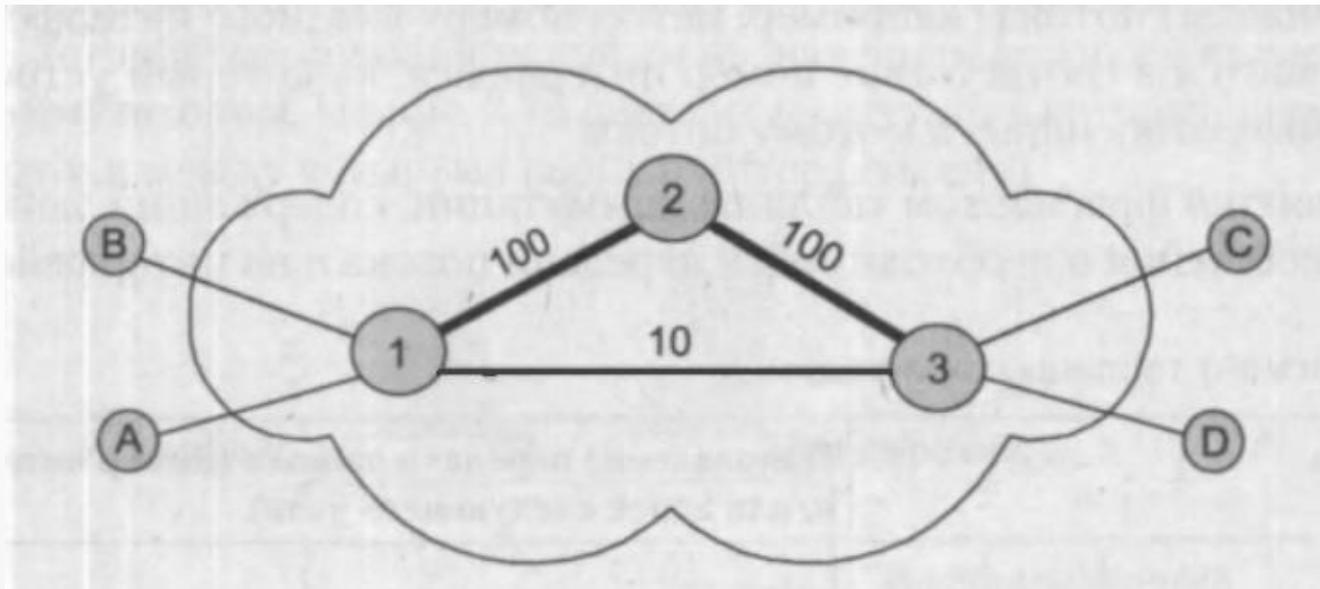
В качестве критериев оптимальности могут выступать:

- номинальная пропускная способность и загруженность каналов связи;
- задержки, вносимые каналами;
- количество промежуточных транзитных узлов;
- надежность каналов и транзитных узлов;
- текущая степень загруженности каналов трафиком.

Принципы маршрутизации

Для передачи трафика между конечными узлами А и С существует два альтернативных маршрута:

- *A-1-2-3-C* – учитывает пропускную способность линии;
- *A-1-3-C* – учитывает топологию сети.



Маршрут *A-1-2-3-C* оказывается «более коротким».

Принципы маршрутизации

Абстрактный способ измерения степени близости между двумя объектами называется **метрикой** (количество транзитных узлов, линейная протяженность маршрута, стоимость маршрута в денежном выражении).

Для построения метрики, учитывающей пропускную способность, длину каждого канала-участка характеризуют величиной, обратной его пропускной способности.

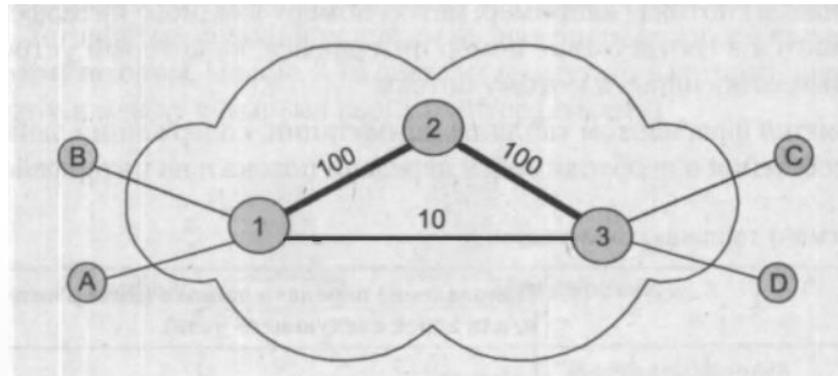
Чтобы оперировать целыми числами, выбирают некоторую константу, заведомо большую, чем пропускные способности каналов в сети.

Принципы маршрутизации

Например, если мы в качестве такой константы выбрать 100 Мбит/с, то метрика каждого из каналов 1-2 и 2-3 равна 1, а метрика канала 1-3 составляет 10.

Метрика маршрута равна сумме метрик составляющих его каналов, поэтому:

- 1-2-3 обладает метрикой 2;
- 1-3 обладает метрикой 10.



Принципы маршрутизации

После определения маршрута необходимо **оповестить** о нем все устройства сети.

Сообщение о маршруте должно нести каждому транзитному устройству примерно такую информацию:

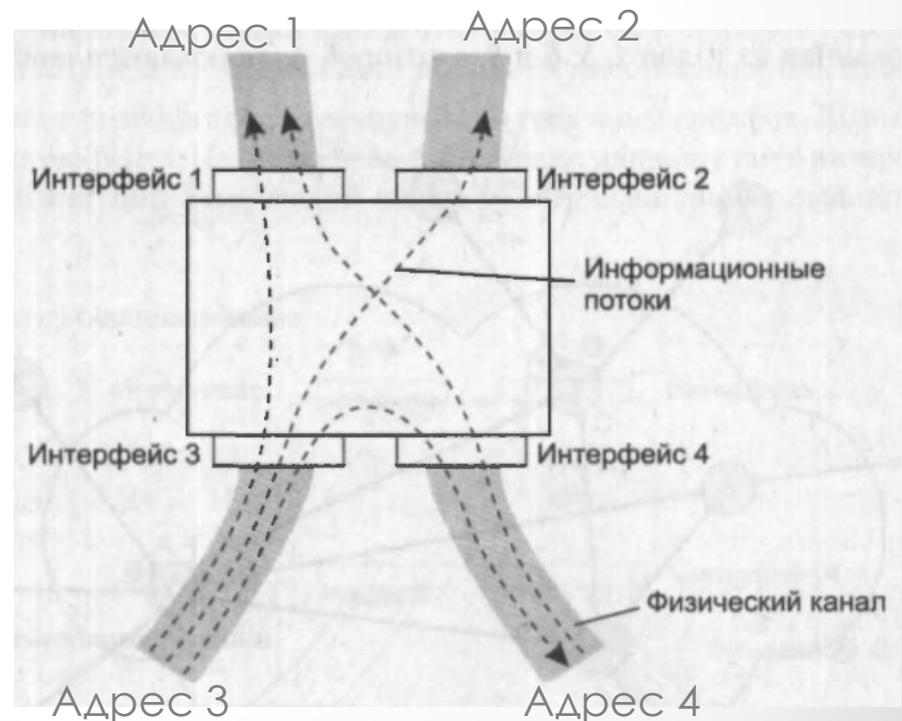
«Каждый раз, когда в устройство поступят данные, относящиеся к потоку **n** , их следует передать для дальнейшего продвижения на интерфейс **F** ».

Каждое подобное сообщение о маршруте обрабатывается устройством, в результате создается новая запись в **таблице коммутации (маршрутизации)**.

Принципы маршрутизации

В таблице коммутации (маршрутизации) локальному или глобальному признаку потока ставится в соответствие номер интерфейса, на который устройство должно передавать данные, относящиеся к этому потоку.

Признаки потока (например, адрес назначения и источника)	Направление передачи (выходной сетевой интерфейс)
Адрес 1, Адрес 3	Интерфейс 1
Адрес 2, Адрес 3	Интерфейс 2
Адрес 1, Адрес 4	Интерфейс 1
Адрес 4, Адрес 3	Интерфейс 4

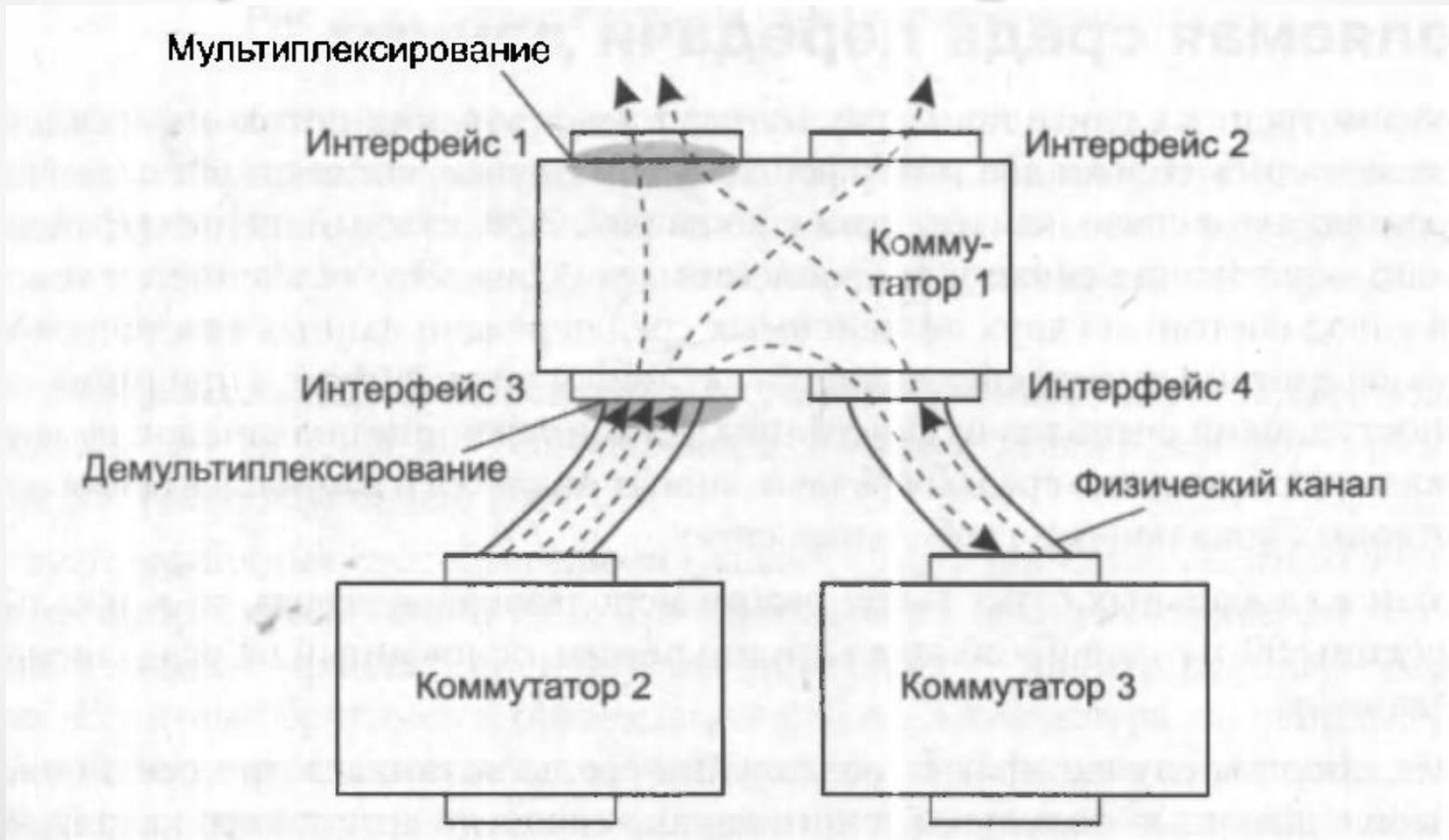


Мультиплексирование / демультиплексирование

Демультиплексирование - разделение суммарного агрегированного потока на несколько составляющих его потоков.

Мультиплексирование - образование из нескольких отдельных потоков общего агрегированного потока, который передается по одному физическому каналу связи.

Мультиплексирование / демультиплексирование



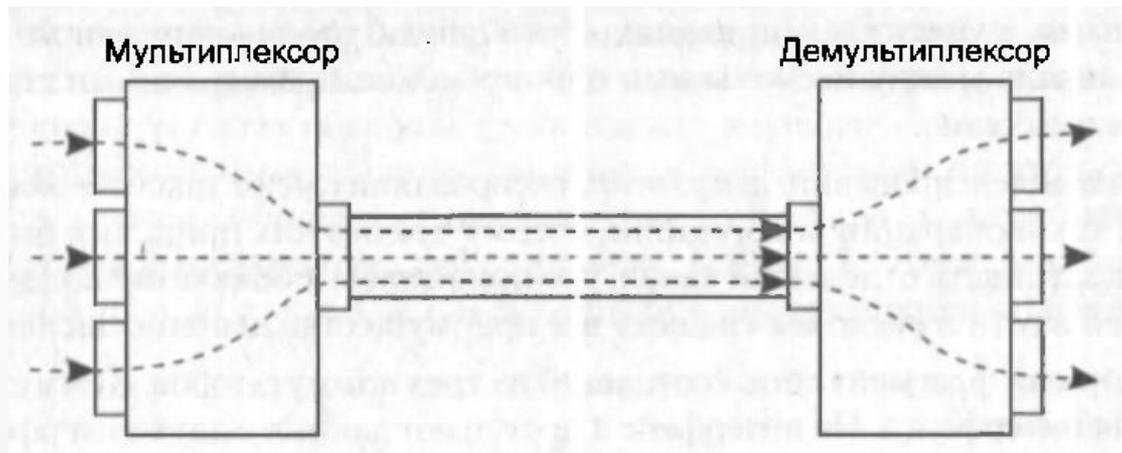
Мультиплексирование / демультиплексирование

Одним из основных способов мультиплексирования потоков является **разделение времени**. При этом способе каждый поток время от времени (с фиксированным или случайным периодом) получает физический канал в полное свое распоряжение и передает по нему свои данные.

Распространено также **частотное** и **спектральное разделение** канала, когда каждый поток передает данные в выделенном ему частотном диапазоне или диапазоне длин волн.

Мультиплексирование / демультиплексирование

Частный случай коммутатора, у которого все входящие информационные потоки коммутируются на один выходной интерфейс, где они мультиплексируются в один агрегированный поток, называется **мультиплексором**. Коммутатор, который имеет один входной интерфейс и несколько выходов, называется **демультиплексором**.



Принципы коммутации

Комплекс технических решений обобщенной задачи коммутации в своей совокупности составляет основу любой сетевой технологии.

К этим частным задачам относятся:

- определение потоков и соответствующих маршрутов;
- фиксация маршрутов в конфигурационных параметрах и таблицах сетевых устройств;
- распознавание потоков и передача данных между интерфейсами одного устройства;
- мультиплексирование/демультиплексирование потоков;
- разделение среды передачи.

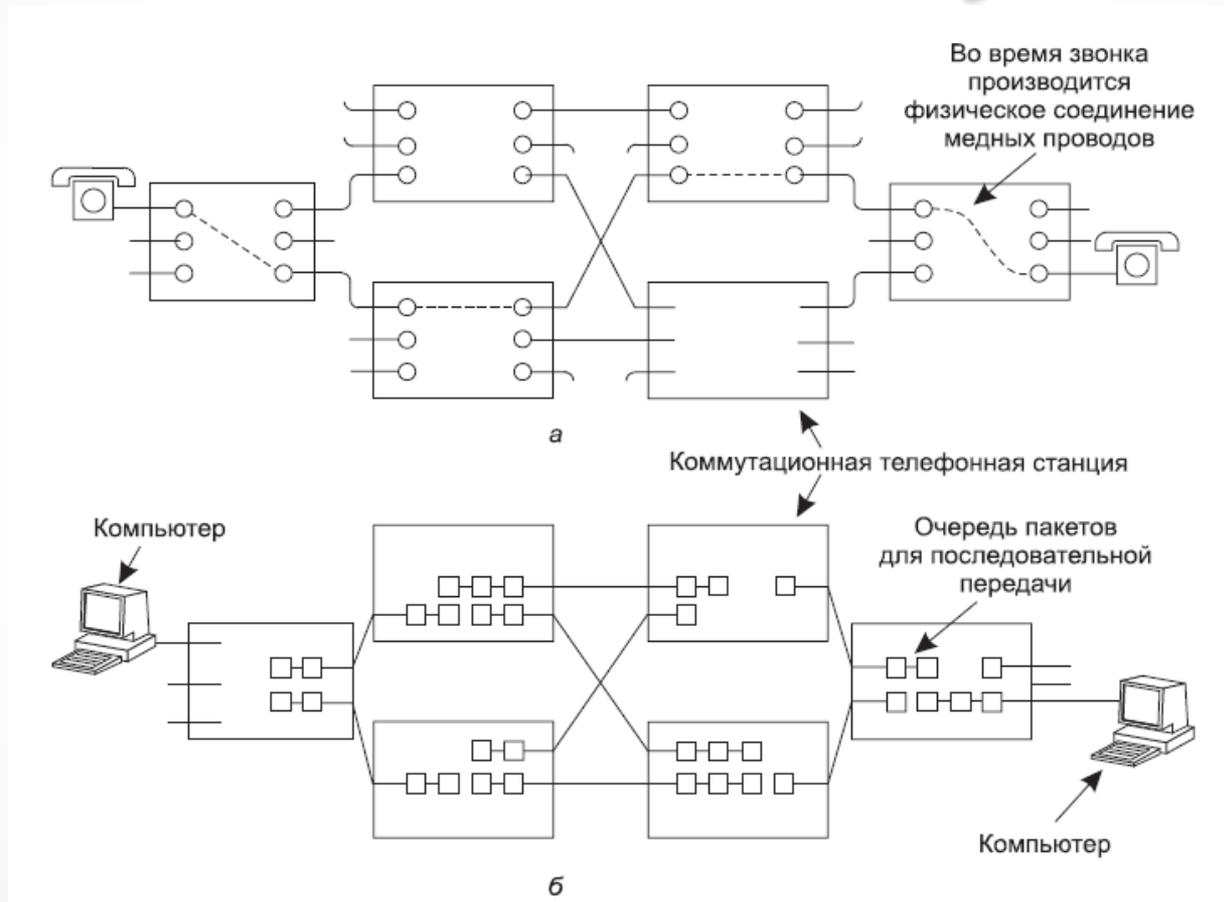
Принципы коммутации

Среди множества возможных подходов к решению задачи коммутации абонентов в сетях выделяют два основополагающих, к которым относят:

- **КОММУТАЦИЮ КАНАЛОВ;**
- **КОММУТАЦИЮ ПАКЕТОВ.**

Каждый из этих двух подходов имеет свои достоинства и недостатки. Существуют традиционные области применения каждой из техник коммутации, например, телефонные сети строились и продолжают строиться с использованием техники коммутации каналов, а компьютерные сети в подавляющем большинстве основаны на технике коммутации пакетов.

Принципы коммутации



Коммутация каналов (а) и пакетов (б)

Коммутация каналов

Принципы коммутации каналов

- 1) Глобальным признаком потока является пара адресов (телефонных номеров) абонентов, связывающихся между собой.
- 2) Для всех возможных потоков заранее определяются маршруты. Маршруты в сетях с коммутацией каналов задаются либо «вручную» администратором сети, либо находятся автоматически с привлечением специальных программных и аппаратных средств.
- 3) Маршруты фиксируются в таблицах, в которых признакам потока ставятся в соответствие идентификаторы выходных интерфейсов коммутаторов.

Коммутация каналов

Особенностью сетей с коммутацией каналов является то, что пропускная способность каждой линии связи должна быть равна **целому числу** элементарных каналов.

Элементарный канал (или просто **канал**) - это базовая техническая характеристика сети с коммутацией каналов, представляющая собой некоторое фиксированное в пределах данного типа сетей значение пропускной способности. Любая линия связи в сети с коммутацией каналов имеет пропускную способность, кратную элементарному каналу, принятому для данного типа сети.

Коммутация каналов

В традиционных телефонных сетях наиболее распространенным значением элементарного канала сегодня является скорость

64 кбит/с.

Это минимально достаточная скорость для качественной цифровой передачи голоса.

Связь, построенную путем коммутации (соединения) элементарных каналов, называют **СОСТАВНЫМ КАНАЛОМ**.

Коммутация каналов

Свойства составного канала:

- составной канал на всем своем протяжении состоит из **одинакового** количества элементарных каналов;
- составной канал имеет **постоянную и фиксированную пропускную способность** на всем своем протяжении;
- составной канал создается **временно** на период сеанса связи двух абонентов;
- на время сеанса связи все элементарные каналы, входящие в составной канал, поступают в **исключительное** пользование абонентов, для которых был создан этот составной канал;

Коммутация каналов

Свойства составного канала:

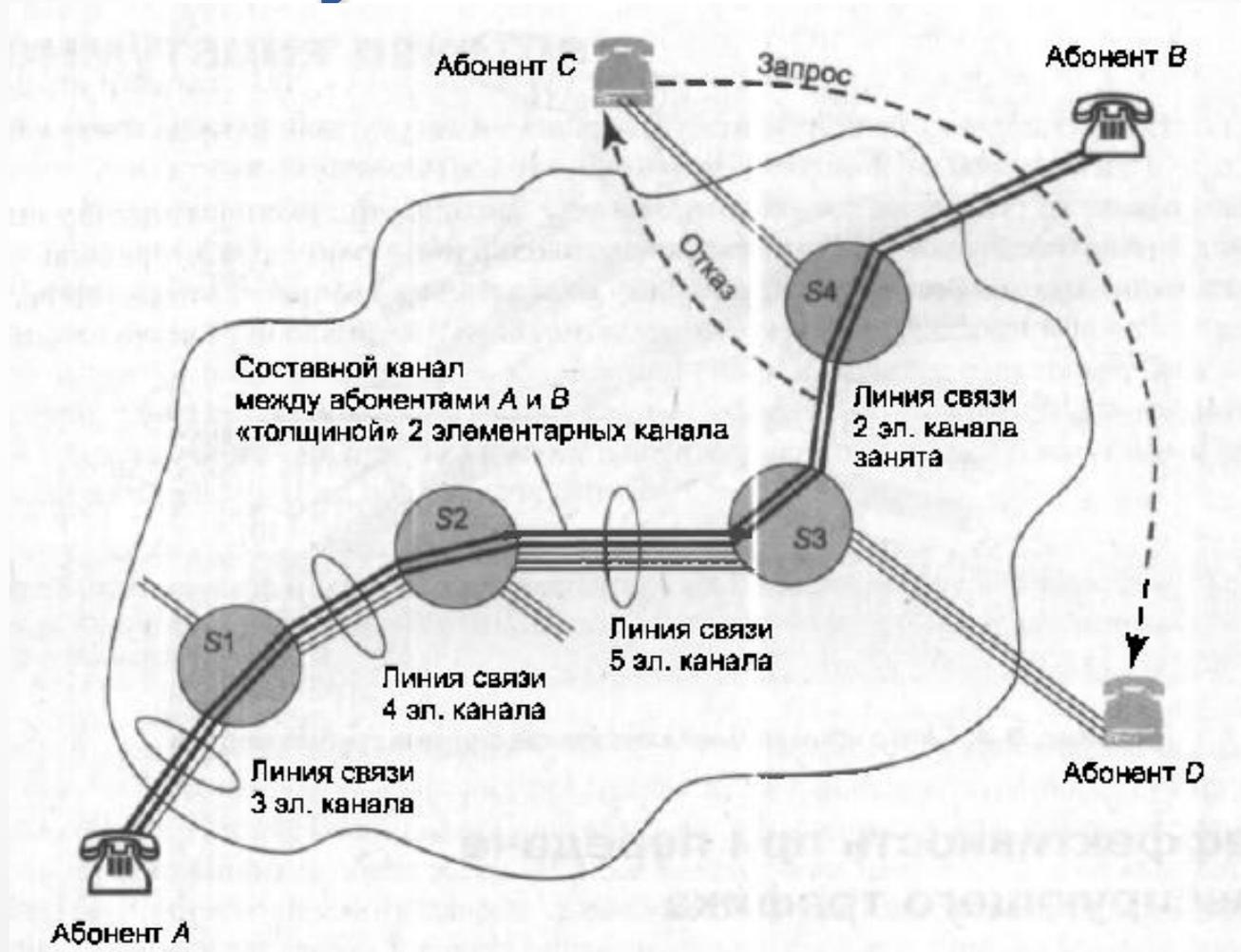
- в течение всего сеанса связи абоненты могут посылать в сеть данные со скоростью, **не превышающей** пропускную способность составного канала;
- данные, поступившие в составной канал, гарантированно доставляются вызываемому абоненту **без задержек, потерь и с той же скоростью** (скоростью источника) вне зависимости от того, существуют ли в это время в сети другие соединения или нет;
- после окончания сеанса связи элементарные каналы, входившие в соответствующий составной канал, **объявляются свободными** и возвращаются в пул распределяемых ресурсов для использования другими абонентами.

Коммутация каналов

Продвижение данных в сетях с коммутацией каналов происходит в два этапа:

1. В сеть поступает служебное сообщение - запрос, который несет адрес вызываемого абонента и организует создание составного канала.
2. По подготовленному составному каналу передается основной поток данных, для передачи которого уже не требуется никакой вспомогательной информации, в том числе адреса вызываемого абонента. Коммутация данных в коммутаторах выполняется на основе локальных признаков - номеров элементарных каналов.

Коммутация каналов



Коммутация каналов

Сети с коммутацией каналов наиболее эффективно передают пользовательский трафик в том случае, когда скорость его **постоянна в течение всего сеанса связи** и максимально соответствует **фиксированной** пропускной способности физических линий связи сети.

Эффективность работы сети снижается, когда информационные потоки, генерируемые абонентами, приобретают **пульсирующий** характер, характерный для компьютерных сетей.

Коммутация пакетов

Важнейшим принципом функционирования сетей с **коммутацией пакетов** является представление информации, передаваемой по сети, в виде структурно отделенных друг от друга порций данных, называемых **пакетами**.

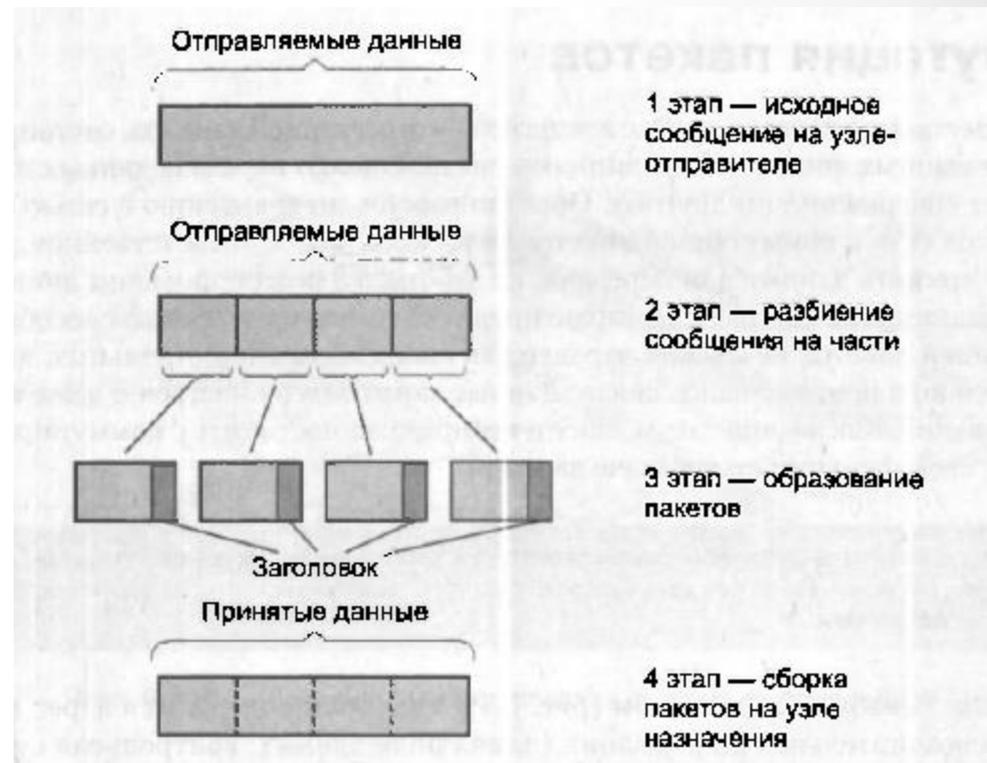
Каждый пакет снабжен **заголовком**, в котором содержится адрес назначения и другая вспомогательная информация (длина поля данных, контрольная сумма и др.), используемая для доставки пакета адресату.

Коммутация пакетов

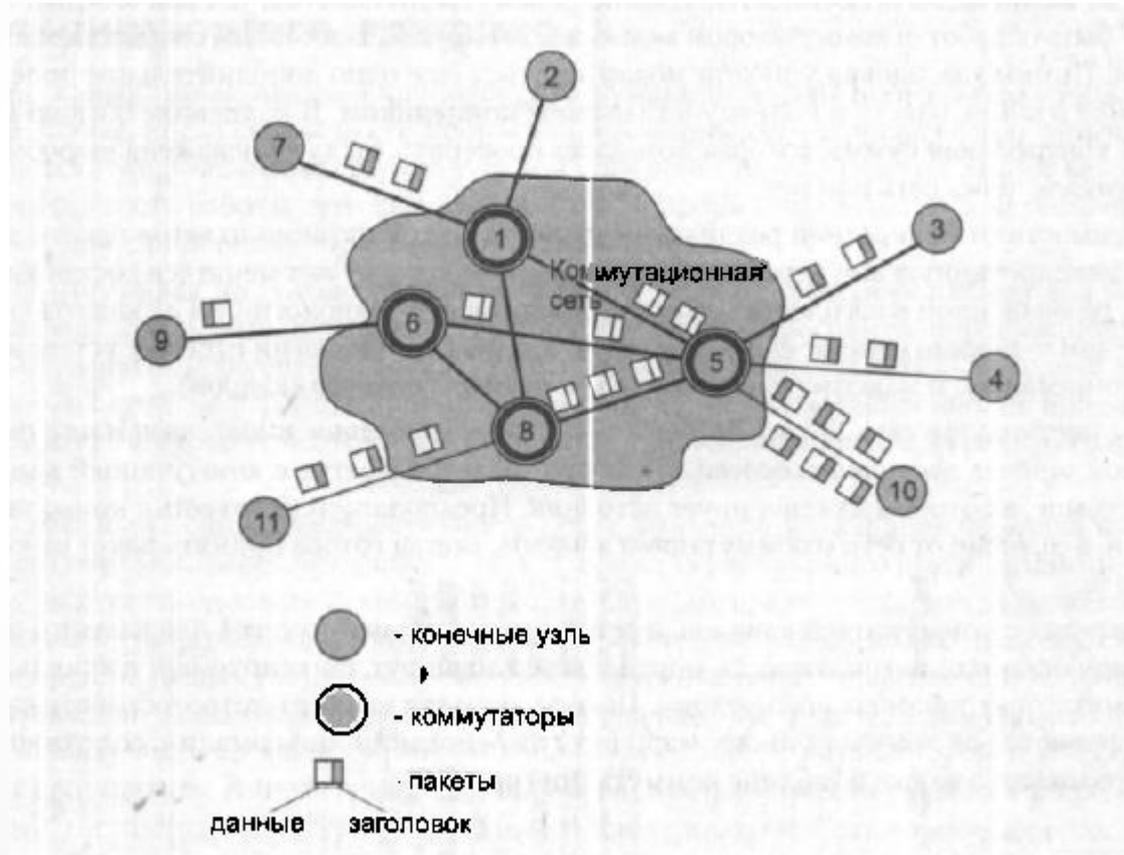
Адрес располагается в каждом пакете, так как он может быть обработан коммутатором **независимо** от других пакетов, составляющих сетевой трафик.

У пакета может иметься еще одно дополнительное поле, размещаемое в конце пакета и поэтому называемое **концевиком**.

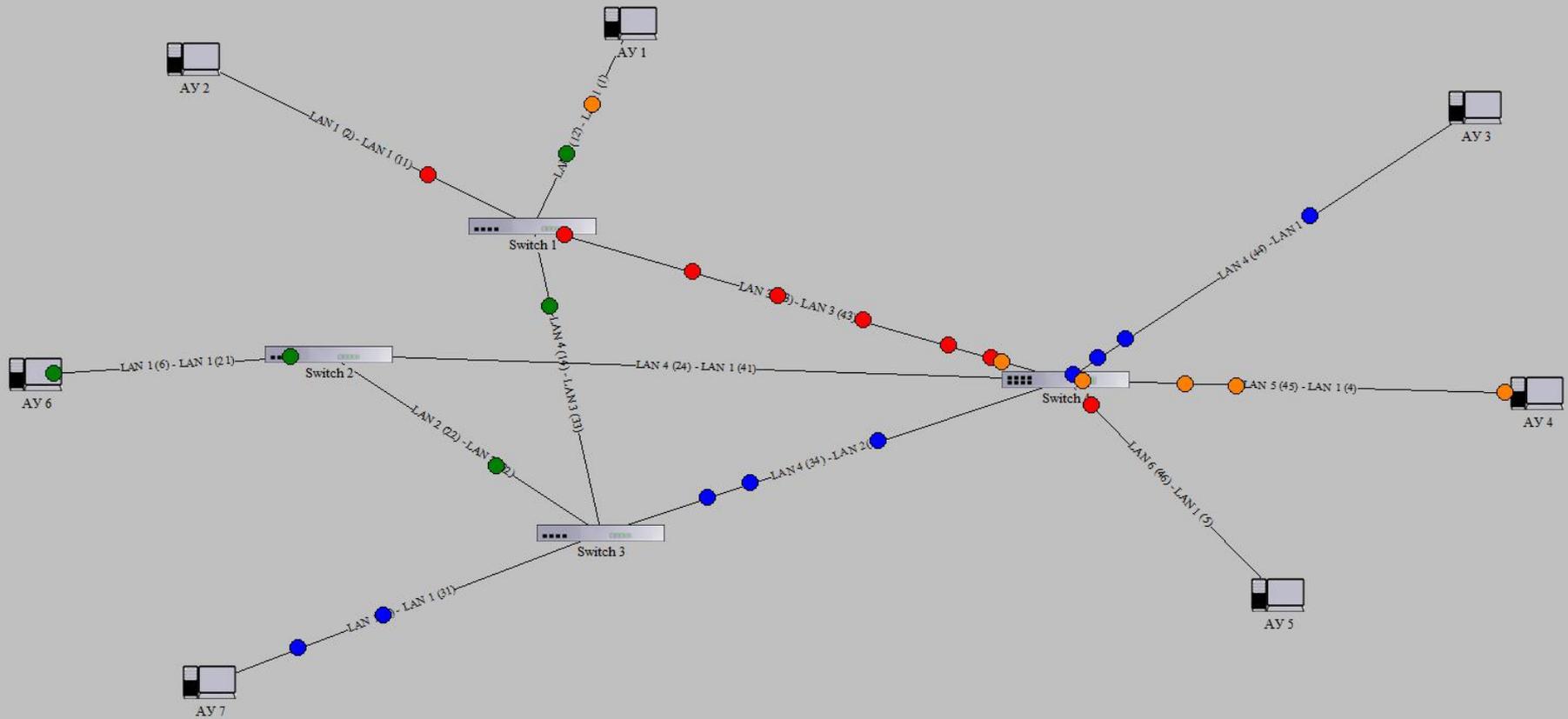
В концевике обычно помещается **контрольная сумма**, которая позволяет проверить, была ли искажена информация при передаче через сеть или нет.



Коммутация пакетов



Коммутация пакетов



Коммутация пакетов

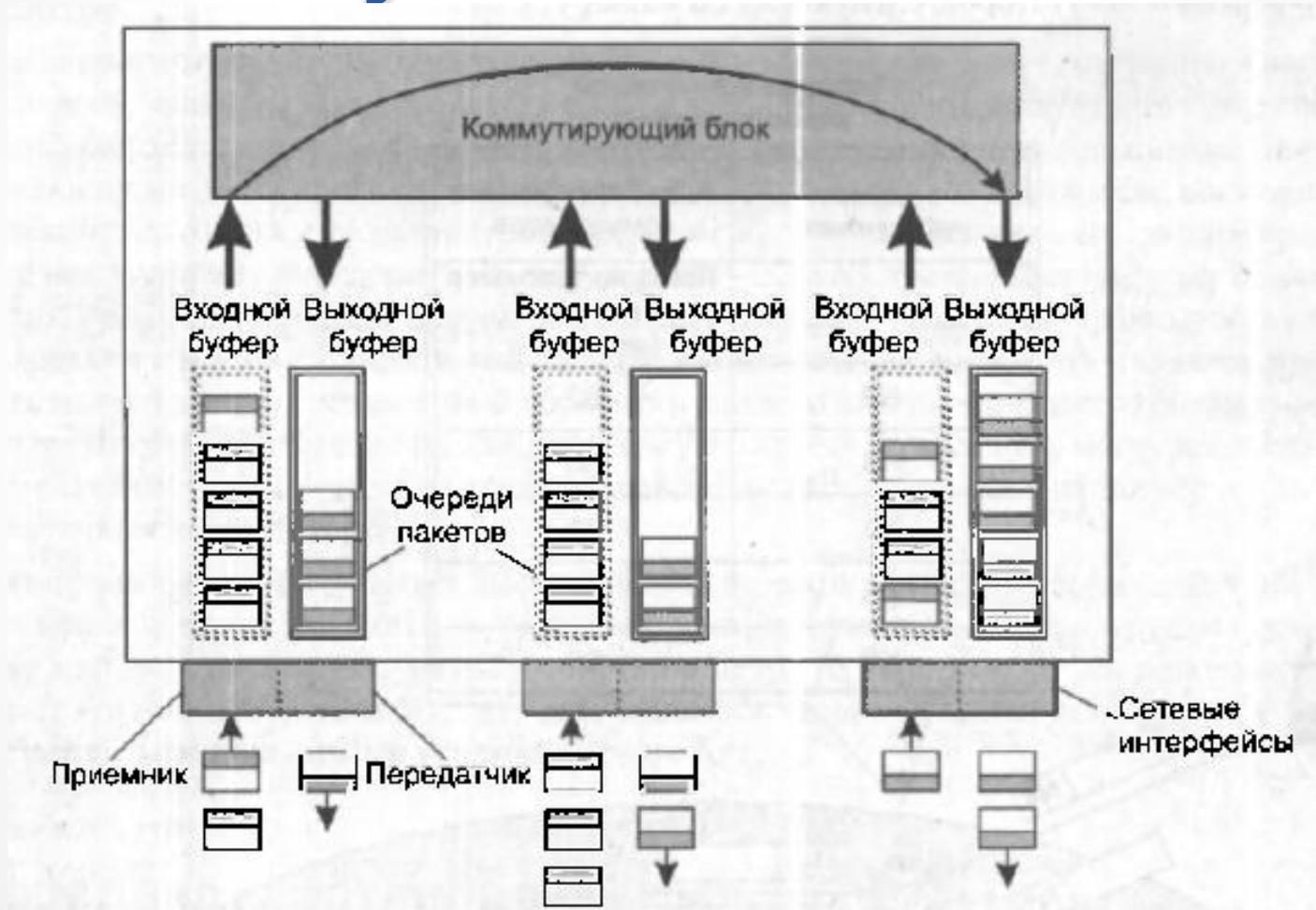
Главное отличие пакетных коммутаторов от коммутаторов в сетях с коммутацией каналов состоит в том, что они имеют внутреннюю **буферную память** для временного хранения пакетов.

Каждый пакет последовательно бит за битом помещается во **входной буфер**. Сети с коммутацией пакетов используют технику **сохранения с продвижением**.

Коммутатору нужны буферы для **согласования скоростей передачи данных в линиях связи**, подключенных к его интерфейсам.

Буферизация необходима пакетному коммутатору также для **согласования скорости поступления пакетов со скоростью их коммутации**.

Коммутация пакетов



Коммутация пакетов

Дейтаграммный способ передачи данных основан на том, что все передаваемые пакеты продвигаются (передаются от одного узла сети другому) независимо друг от друга на основании одних и тех же правил.

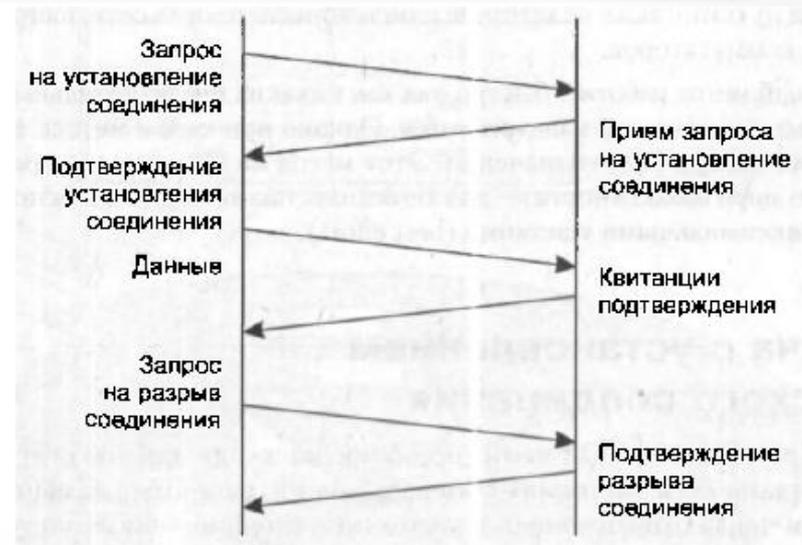
Процедура обработки пакета определяется только значениями параметров, которые он несет в себе, и текущим состоянием сети.

Каждый отдельный пакет рассматривается сетью как совершенно независимая единица передачи - **дейтаграмма**.

Коммутация пакетов

Процедура согласования двумя конечными узлами сети некоторых параметров процесса обмена пакетами называется **установлением логического соединения**. Параметры, о которых договариваются два взаимодействующих узла, называются **параметрами логического соединения**.

Наличие логического соединения позволяет более рационально по сравнению с дейтаграммным способом обрабатывать пакеты.



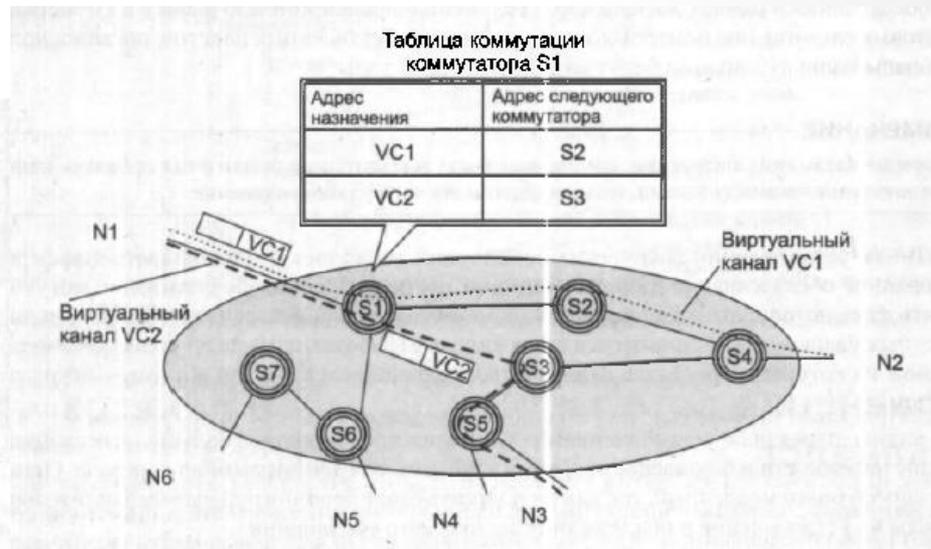
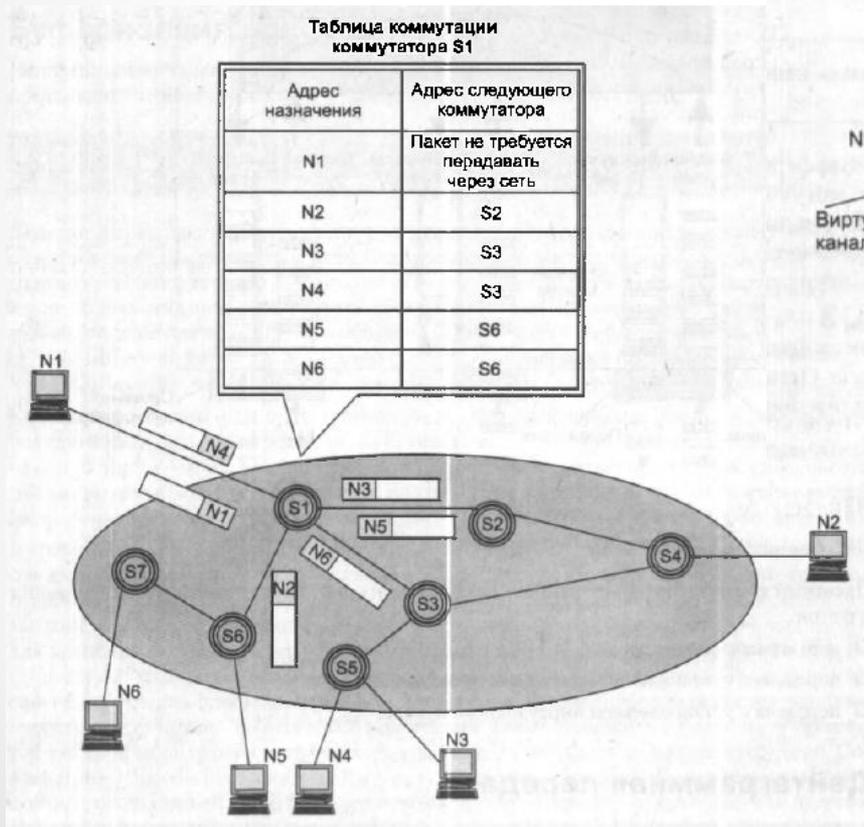
Коммутация пакетов

Единственный заранее проложенный фиксированный маршрут, соединяющий конечные узлы в сети с коммутацией пакетов, называют **виртуальным каналом** (virtual circuit или virtual channel).

Виртуальные каналы прокладываются для **устойчивых** информационных потоков. С целью выделения потока данных из общего трафика каждый пакет этого потока помечается специальным видом признака - **меткой**.

Прокладка виртуального канала начинается с отправки из узла-источника специального пакета - запроса на установление соединения. В запросе указываются адрес назначения и метка потока, для которого прокладывается этот виртуальный канал.

Коммутация пакетов



Виртуальные каналы

Дейтаграммная передача

Сравнение способов КОММУТАЦИИ

В сети с **коммутацией каналов** данные после задержки, связанной с установлением канала, начинают передаваться на стандартной для канала скорости. Время доставки данных адресату равно сумме **времени распространения сигнала в канале** и **времени передачи сообщения в канал** (называемое также **временем сериализации**).

Наличие коммутаторов в сети с коммутацией каналов **никак не влияет** на суммарное время прохождения данных через сеть.

В сети с **коммутацией пакетов** дополнительно учитывается **время буферизации пакетов в узлах коммутации**, однако в такой сети не является обязательным процесс установления соединения.

Сравнение способов коммутации

При рассмотрении сети в целом логично использовать в качестве критерия эффективности сети не скорость передачи трафика отдельного пользователя, а более интегральный критерий, например общий **объем передаваемых сетью данных в единицу времени**. В этом случае эффективность сетей с **коммутацией пакетов** по сравнению с сетями с **коммутацией каналов** (при равной пропускной способности каналов связи) оказывается выше!

Сравнение способов КОММУТАЦИИ

Коммутация каналов	Коммутация пакетов
Необходимо предварительно устанавливать соединение	Отсутствует этап установления соединения (дейтаграммный способ)
Адрес требуется только на этапе установления соединения	Адрес и другая служебная информация передаются с каждым пакетом
Сеть может отказать абоненту в установлении соединения	Сеть всегда готова принять данные от абонента
Гарантированная пропускная способность (полоса пропускания) для взаимодействующих абонентов	Пропускная способность сети для абонентов неизвестна, задержки передачи носят случайный характер
Трафик реального времени передается без задержек	Ресурсы сети используются эффективно при передаче пульсирующего трафика
Высокая надежность передачи	Возможные потери данных из-за переполнения буферов
Нерациональное использование пропускной способности каналов, снижающее общую эффективность сети	Автоматическое динамическое распределение пропускной способности физического канала между абонентами

Классификация сетей

В зависимости от территории покрытия:

- **локальные сети** (Local Area Network, LAN);
- **глобальные сети** (Wide Area Network, WAN);
- **городские сети** (Metropolitan Area Network, MAN).

Классификация сетей

В соответствии с технологическими признаками, обусловленными **средой передачи**, сети подразделяют на:

- **проводные сети**, то есть сети, каналы связи которых построены с использованием медных или оптических кабелей;
- **беспроводные сети**, то есть сети, в которых для связи используются беспроводные каналы связи, например радио, СВЧ, инфракрасные или лазерные каналы.

Классификация сетей

В зависимости от **способа коммутации** сети подразделяются на:

- сети с **коммутацией пакетов**;
- сети с **коммутацией каналов**.

В свою очередь, техника коммутации пакетов допускает несколько вариаций, отличающихся способом продвижения пакетов:

- **дейтаграммные сети** (Ethernet);
- сети, основанные на **логических соединениях** (IP-сети, использующие на транспортном уровне протокол TCP);
- сети, основанные на **виртуальных каналах** (MPLS-сети).

Классификация сетей

В зависимости от того, какому **типу пользователей** **предназначаются услуги сети**, сети делятся на:

- **сети операторов связи** (предоставляют публичные услуги телефонии и аренды каналов связи);
- **корпоративные сети** (предоставляют услуги только сотрудникам предприятия, которое владеет сетью);
- **персональные сети** (находятся в личном использовании).

Классификация сетей

В зависимости от **функциональной роли**, которую играют некоторые части сети, они делятся на: сети доступа, магистральные сети и сети агрегирования трафика.

- **сети доступа** - это сети, предоставляющие доступ индивидуальным и корпоративным абонентам от их помещений до первого помещения оператора сети связи или оператора корпоративной сети;
- **магистральные сети** - это сети, представляющие собой наиболее скоростную часть глобальной сети, которая объединяет многочисленные сети доступа в единую сеть;
- **сети агрегирования трафика** - это сети, агрегирующие данные от сетей доступа для компактной передачи их по небольшому числу каналов связи в магистраль.

Классификация сетей

Сети разделяют по признаку их **первичности**:

- **первичные сети** - это вспомогательные сети, которые нужны для того, чтобы гибко создавать постоянные физические двухточечные каналы для других сетей связи;
- **наложенные (вторичные) сети** - это все остальные сети, которые предоставляют услуги конечным пользователям и строятся на основе каналов первичных сетей - «накладываются» поверх этих сетей.

Классификация сетей

