

# Тема 12. Сетевой уровень, как средство построения больших сетей



Гончаров Сергей Леонидович  
Старший преподаватель  
кафедры МИОЭС



# ПРИНЦИПЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОТОКОЛОВ СЕТЕВОГО УРОВНЯ

# Сетевой уровень

- ❖ В стандартной модели взаимодействия открытых систем в функции сетевого уровня входит решение следующих задач:
  - передача пакетов между конечными узлами в составных сетях;
  - выбор маршрута передачи пакетов, наилучшего по некоторому критерию;
  - согласование разных протоколов канального уровня, использующихся в отдельных подсетях одной составной сети.
- ❖ Протоколы сетевого уровня реализуются, как правило, в виде программных модулей и выполняются на конечных узлах-компьютерах, называемых хостами, а также на промежуточных узлах - маршрутизаторах, называемых шлюзами.
- ❖ Функции маршрутизаторов могут выполнять как специализированные устройства, так и универсальные компьютеры с соответствующим программным обеспечением.



# Ограничения мостов и коммутаторов

- ❖ Создание сложной, структурированной сети, интегрирующей различные базовые технологии, может осуществляться и средствами канального уровня: для этого могут быть использованы некоторые типы мостов и коммутаторов.
- ❖ Мост или коммутатор разделяет сеть на сегменты, локализуя трафик внутри сегмента, что делает линии связи разделяемыми преимущественно между станциями данного сегмента.
- ❖ Тем самым сеть распадается на отдельные подсети, из которых могут быть построены составные сети достаточно крупных размеров.
- ❖ Однако построение сложных сетей только на основе повторителей, мостов и коммутаторов имеет существенные ограничения и недостатки.



# Ограничения мостов и коммутаторов

- ❖ *Во-первых*, в топологии получившейся сети должны отсутствовать петли.
- ❖ Действительно, мост/коммутатор может решать задачу доставки пакета адресату только тогда, когда между отправителем и получателем существует единственный путь.
- ❖ В то же время наличие избыточных связей, которые и образуют петли, часто необходимо для лучшей балансировки нагрузки, а также для повышения надежности сети за счет образования резервных путей.



# Ограничения мостов и коммутаторов

- ❖ *Во-вторых*, логические сегменты сети, расположенные между мостами или коммутаторами, слабо изолированы друг от друга, а именно не защищены от так называемых широковещательных штормов.
- ❖ Если какая-либо станция посылает широковещательное сообщение, то это сообщение передается всем станциям всех логических сегментов сети.
- ❖ Защита от широковещательных штормов в сетях, построенных на основе мостов и коммутаторов, имеет количественный, а не качественный характер: администратор просто ограничивает количество широковещательных пакетов, которое разрешается генерировать некоторому узлу в единицу времени.



# Ограничения мостов и коммутаторов

- ❖ *В-третьих*, в сетях, построенных на основе мостов и коммутаторов, достаточно сложно решается задача управления трафиком на основе значения данных, содержащихся в пакете.
- ❖ В таких сетях это возможно только с помощью пользовательских фильтров, для задания которых администратору придется иметь дело с двоичным представлением содержимого пакетов.



# Ограничения мостов и коммутаторов

- ❖ *В-четвертых*, реализация транспортной подсистемы только средствами физического и канального уровней, к которым относятся мосты и коммутаторы, приводит к недостаточно гибкой, одноуровневой системе адресации: в качестве адреса назначения используется MAC - адрес, жестко связанный с сетевым адаптером.

# Понятие internetworking

- ❖ Сеть в общем случае рассматривается как совокупность нескольких сетей и называется составной сетью или интерсетью (*internetwork* или *internet*).
- ❖ Сети, входящие в составную сеть, называются подсетями (*subnet*), составляющими сетями или просто сетями.



# Понятие internetworking

- ❖ Сетевой уровень выступает в качестве координатора, организующего работу всех подсетей, лежащих на пути продвижения пакета по составной сети.
- ❖ Для перемещения данных в пределах подсетей сетевой уровень обращается к используемым в этих подсетях технологиям.
- ❖ Хотя многие технологии локальных сетей (*Ethernet, Token Ring, FDDI, Fast Ethernet* и др.) используют одну и ту же систему адресации узлов на основе MAC - адресов, существует немало технологий (*X.25, ATM, frame relay*), в которых применяются другие схемы адресации.
- ❖ Адреса, присвоенные узлам в соответствии с технологиями подсетей, называют локальными.



# Понятие internetworking

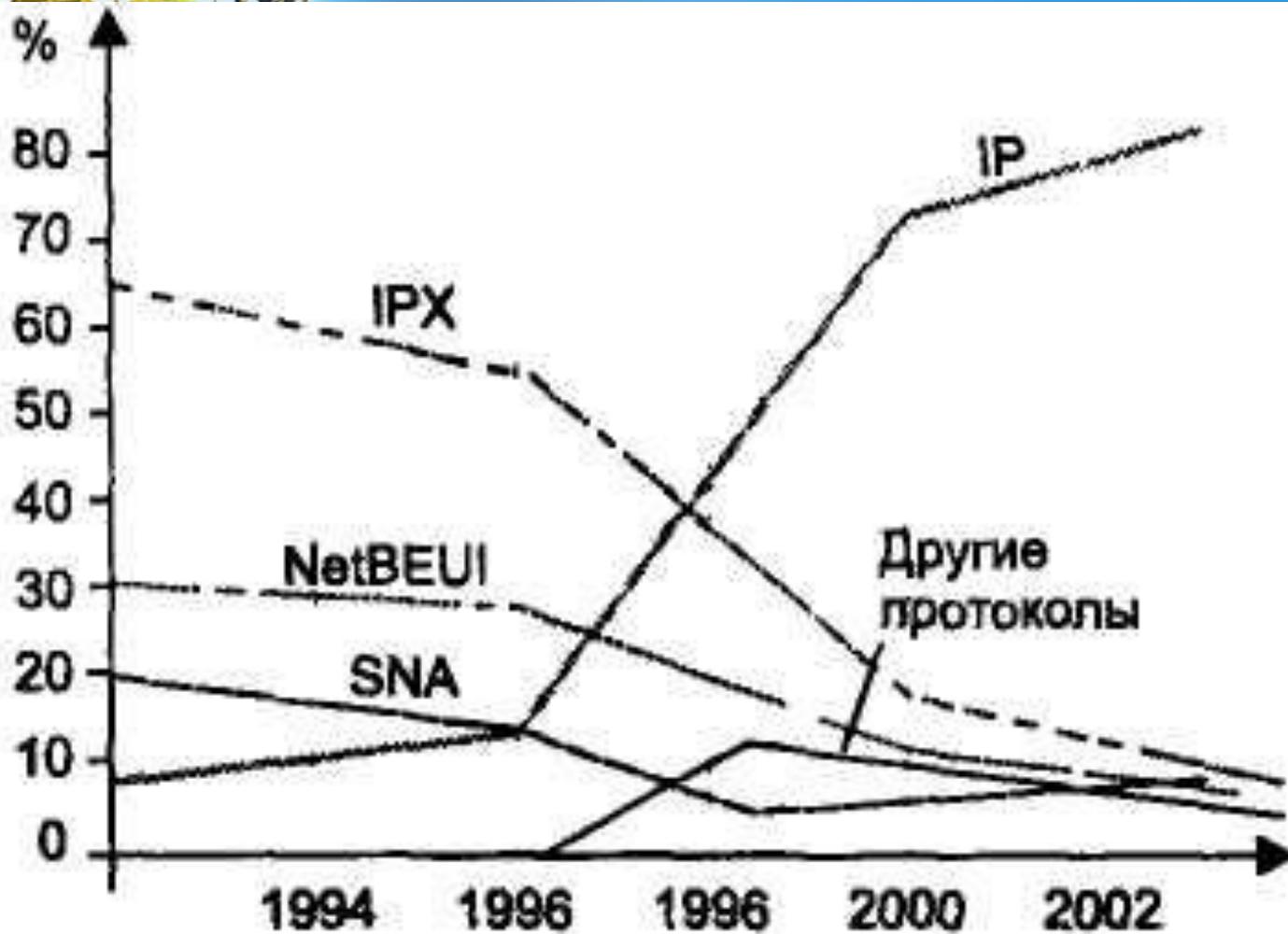
- ❖ Чтобы сетевой уровень мог выполнить свою задачу, ему необходима собственная система адресации, не зависящая от способов адресации узлов в отдельных подсетях, которая позволила бы на сетевом уровне универсальным и однозначным способами идентифицировать любой узел составной сети.
- ❖ Естественным способом формирования сетевого адреса является уникальная нумерация всех подсетей составной сети и нумерация всех узлов в пределах каждой подсети.
- ❖ Таким образом, сетевой адрес представляет собой пару: номер сети (подсети) и номер узла.



# СЕМЕЙСТВО ПРОТОКОЛОВ ТСР/IP

# TCP/IP

- ❖ Группа протоколов под общим названием TCP/IP была разработана в ходе исследовательской работы, выполненной Управлением перспективных исследований и разработок министерства обороны США (DARPA).
- ❖ Первоначально она разрабатывалась для обеспечения связи между компьютерами внутри самого управления.
- ❖ В настоящее время протокол TCP/IP де-факто является стандартом для межсетевого обмена данными и играет роль транспортного Протокола в сети Internet, позволяя связываться миллионам компьютеров по всему миру.





# Многоуровневая структура стека TCP/IP

Уровни эталонной модели OSI

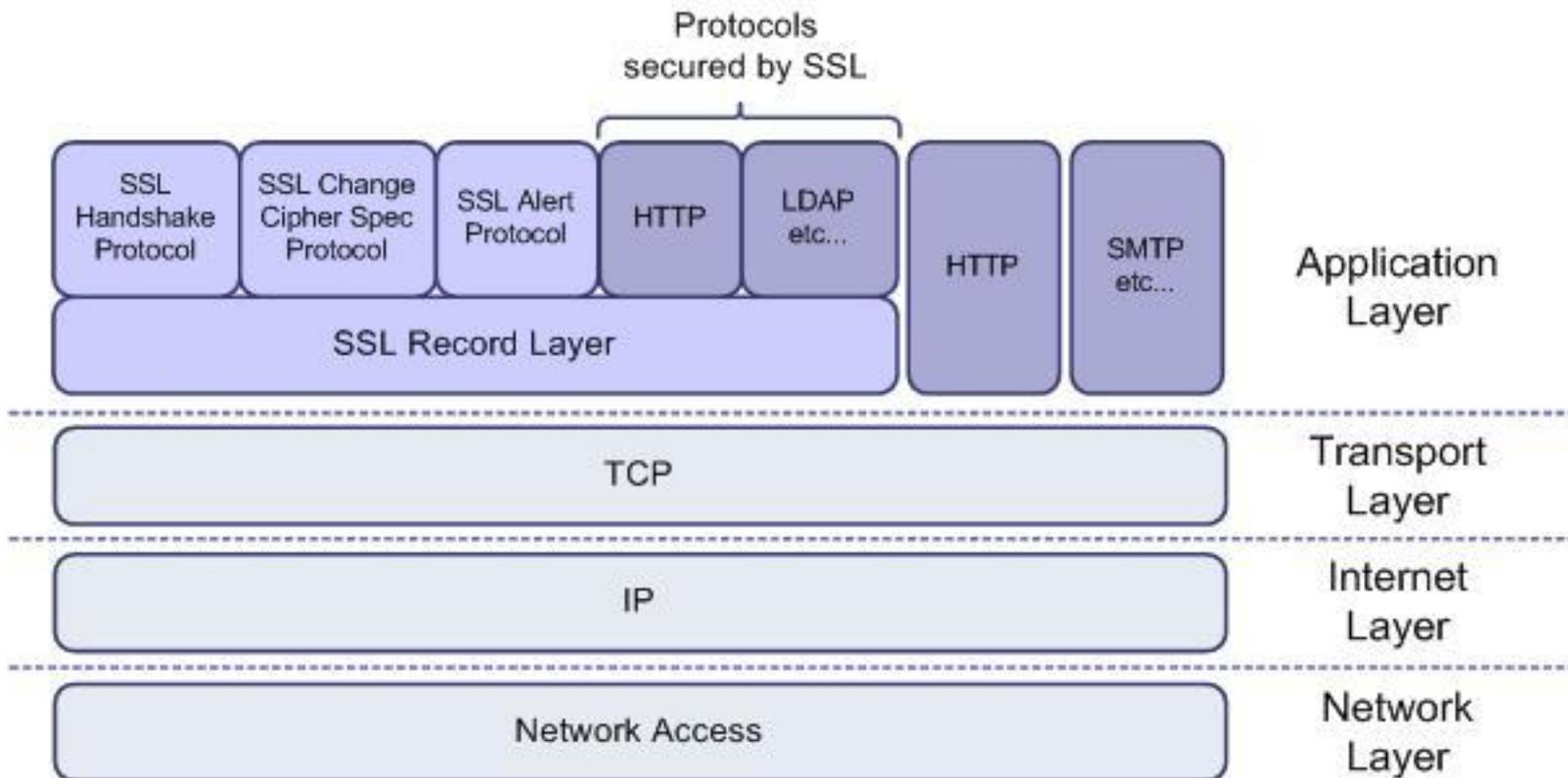


Концептуальные уровни TCP/IP





# ТСР/IP и уровень приложений





# ТСР/IP и транспортный уровень

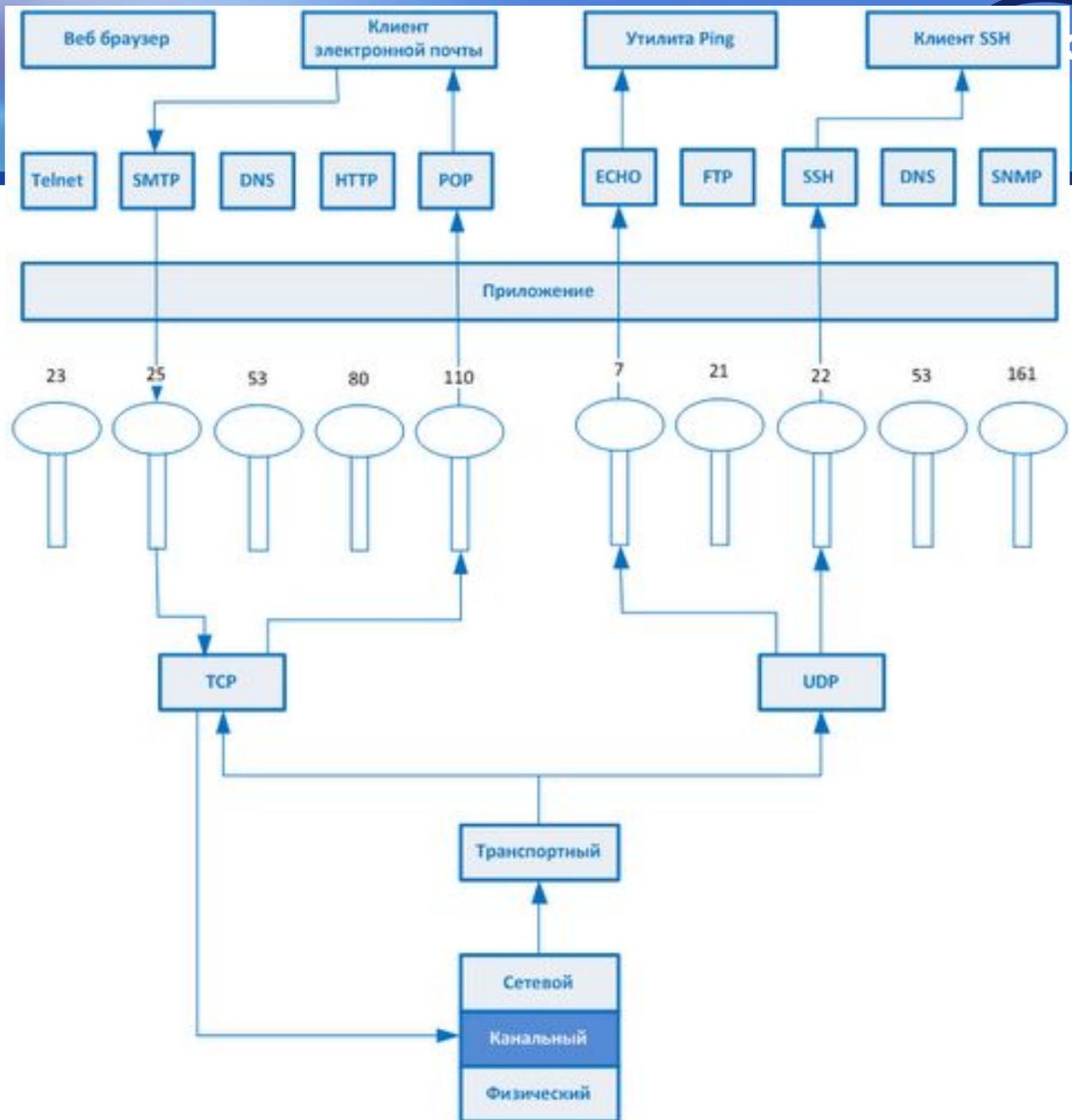
- ❖ ТСР — надежный протокол с установлением соединения. Он отвечает за разбиение сообщений на сегменты, их сборку на станции в пункте назначения, повторную отсылку всего, что оказалось не полученным, и сборку сообщений из сегментов. Протокол ТСР обеспечивает виртуальный канал между приложениями конечных пользователей.
- ❖ Протокол дейтаграмм пользователя (User Datagram Protocol, UDP) — "ненадежный", не ориентированный на установление соединения. Хотя протокол UDP и отвечает за передачу сообщений, на этом уровне отсутствует программное обеспечение для проверки доставки сегментов; отсюда и определение "ненадежный"



Инкапсуляция данных в стеке TCP/IP					
5	Прикладной	Данные			
4	Транспортный	Данные			
3	Сетевой	Данные	Заголовок 4 уровня		
2	Канальный	Данные	Заголовок 4 уровня	Заголовок 3 уровня	
1	Физический	Данные	Заголовок 4 уровня	Заголовок 3 уровня	Заголовок 2 уровня



*Номера портов указывают протокол более высокого уровня, который в данный момент пользуется транспортом*





# ПРОТОКОЛ МЕЖСЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ IP



# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- ❖ реализует концепцию передачи пакетов в режиме без установления соединений, то есть дейтаграммным способом
- ❖ обеспечивает возможность перемещения пакетов по сети, используя тот маршрут, который в данный момент является наиболее рациональным
- ❖ называют уровнем internet, указывая тем самым на основную его функцию — передачу данных через составную сеть.

# Протокол IP

- ❖ В каждой очередной сети, лежащей на пути перемещения пакета, протокол IP обращается к средствам транспортировки этой сети, чтобы с их помощью передать пакет на маршрутизатор, ведущий к следующей сети, или непосредственно на узел-получатель.
- ❖ Таким образом, одной из важнейших функций IP является поддержание интерфейса с нижележащими технологиями сетей, образующих составную сеть.
- ❖ Кроме того, в функции протокола IP входит поддержание интерфейса с протоколами вышележащего транспортного уровня, в частности с протоколом TCP, который решает все вопросы обеспечения надежной доставки данных по составной сети в стеке TCP/IP.
- ❖ Протокол IP относится к протоколам без установления соединений, он поддерживает обработку каждого IP-пакета как независимой единицы обмена, не связанной с другими пакетами.

# Протокол IP

- ❖ В протоколе IP нет механизмов, обычно применяемых для обеспечения достоверности конечных данных.
- ❖ Если во время продвижения пакета происходит какая-либо ошибка, то протокол IP по своей инициативе ничего не предпринимает для исправления этой ошибки.
- ❖ Например, если на промежуточном маршрутизаторе пакет был отброшен из-за ошибки по контрольной сумме, то модуль IP не пытается заново послать потерянный пакет.
- ❖ Другими словами, протокол IP реализует политику доставки «по возможности» (с максимальными усилиями).

# Формат пакета IP

Пакет IP состоит из заголовка и поля данных. Заголовок пакета имеет следующие поля:

- ❖ Поле Номер версии (VERS) указывает версию протокола IP. Сейчас повсеместно используется версия 4 и готовится переход на версию 6, называемую также IPng (IP next generation).
- ❖ Поле Длина заголовка (HLEN) пакета IP занимает 4 бита и указывает значение длины заголовка, измеренное в 32-битовых словах.

# Формат пакета IP

- ❖ Поле Тип сервиса (SERVICE TYPE) занимает 1 байт и задает приоритетность пакета и вид критерия выбора маршрута.
  - Первые три бита этого поля образуют подполе приоритета пакета (PRECEDENCE). Приоритет может иметь значения от 0 (нормальный пакет) до 7 (пакет управляющей информации). Маршрутизаторы и компьютеры могут принимать во внимание приоритет пакета и обрабатывать более важные пакеты в первую очередь.
  - Поле Тип сервиса содержит также три бита, определяющие критерий выбора маршрута. Установленный бит D (delay) говорит о том, что маршрут должен выбираться для минимизации задержки доставки данного пакета, бит T - для максимизации пропускной способности, а бит R - для максимизации надежности доставки.
- ❖ Поле Общая длина (TOTAL LENGTH) занимает 2 байта и указывает общую длину пакета с учетом заголовка и поля данных.
- ❖ Поле Идентификатор пакета (IDENTIFICATION) занимает 2 байта и используется для распознавания пакетов, образовавшихся путем фрагментации исходного пакета. Все фрагменты должны иметь одинаковое значение этого поля.

# Формат пакета IP

- ❖ Поле Флаги (FLAGS) занимает 3 бита, оно указывает на возможность фрагментации пакета (установленный бит Do not Fragment - DF - запрещает маршрутизатору фрагментировать данный пакет), а также на то, является ли данный пакет промежуточным или последним фрагментом исходного пакета (установленный бит More Fragments - MF - говорит о том пакет переносит промежуточный фрагмент).
- ❖ Поле Смещение фрагмента (FRAGMENT OFFSET) занимает 13 бит, оно используется для указания в байтах смещения поля данных этого пакета от начала общего поля данных исходного пакета, подвергнутого фрагментации. Используется при сборке/разборке фрагментов пакетов при передачах их между сетями с различными величинами максимальной длины пакета.
- ❖ Поле Время жизни (TIME TO LIVE) занимает 1 байт и указывает предельный срок, в течение которого пакет может перемещаться по сети. Время жизни данного пакета измеряется в секундах и задается источником передачи средствами протокола IP. На шлюзах и в других узлах сети по истечении каждой секунды из текущего времени жизни вычитается единица; единица вычитается также при каждой транзитной передаче (даже если не прошла секунда). При истечении времени жизни пакет аннулируется.

# Формат пакета IP

- ❖ Идентификатор Протокола верхнего уровня (PROTOCOL) занимает 1 байт и указывает, какому протоколу верхнего уровня принадлежит пакет (например, это могут быть протоколы TCP, UDP или RIP).
- ❖ Контрольная сумма (HEADER CHECKSUM) занимает 2 байта, она рассчитывается по всему заголовку.
- ❖ Поля Адрес источника (SOURCE IP ADDRESS) и Адрес назначения (DESTINATION IP ADDRESS) имеют одинаковую длину - 32 бита, и одинаковую структуру.
- ❖ Поле Резерв (IP OPTIONS) является необязательным и используется обычно только при отладке сети. Это поле состоит из нескольких подполей, каждое из которых может быть одного из восьми predetermined типов. В этих подполях можно указывать точный маршрут прохождения маршрутизаторов, регистрировать проходимые пакетом маршрутизаторы, помещать данные системы безопасности, а также временные отметки.

## ISO / OSI



## TCP / IP



# АДРЕСАЦИЯ В IP-СЕТЯХ

# Адресация в IP-сетях

- ❖ под **локальным адресом** понимается такой тип адреса, который используется средствами базовой технологии для доставки данных в пределах подсети, являющейся элементом составной интeрсети.
- ❖ В разных подсетях допустимы разные сетевые технологии, разные стеки протоколов, поэтому при создании стека TCP/IP предполагалось наличие разных типов локальных адресов.
- ❖ Если подсетью интeрсети является локальная сеть, то локальный адрес — это **MAC-адрес**.



## Адресация в IP-сетях

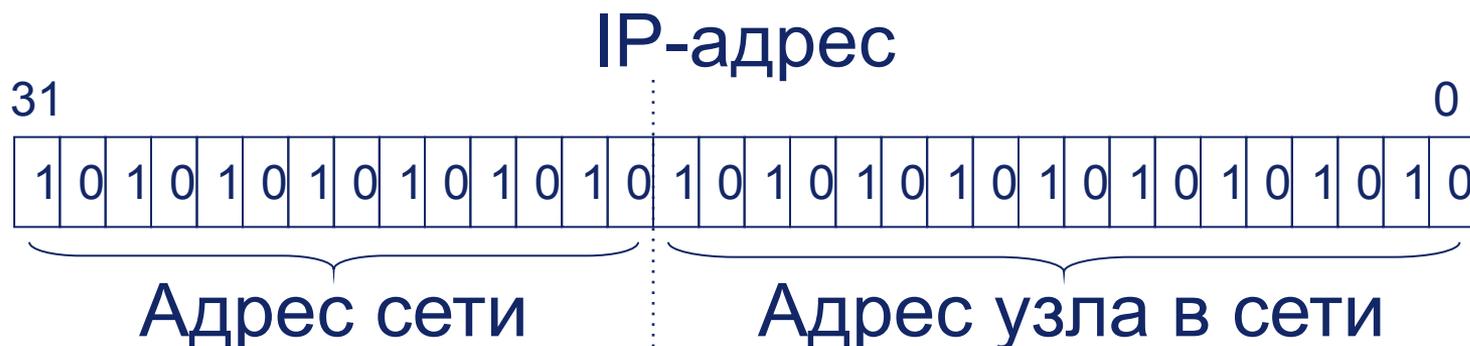
- ❖ Некоторые сетевые устройства не имеют локальных адресов.
- ❖ Например, к таким устройствам относятся глобальные порты маршрутизаторов, предназначенные для соединений типа «точка-точка».

# Адресация IP (IPv4)



- ❖ IP-адрес представляет собой 32-битное число (мы будем рассматривать 4 версию протокола)
  - Обычно адрес разбивают на 4 байта и записывают в виде 4-х чисел от 0 до 255, перечисленных через точку:  
192.168.0.1

# Адресация IP (IPv4)

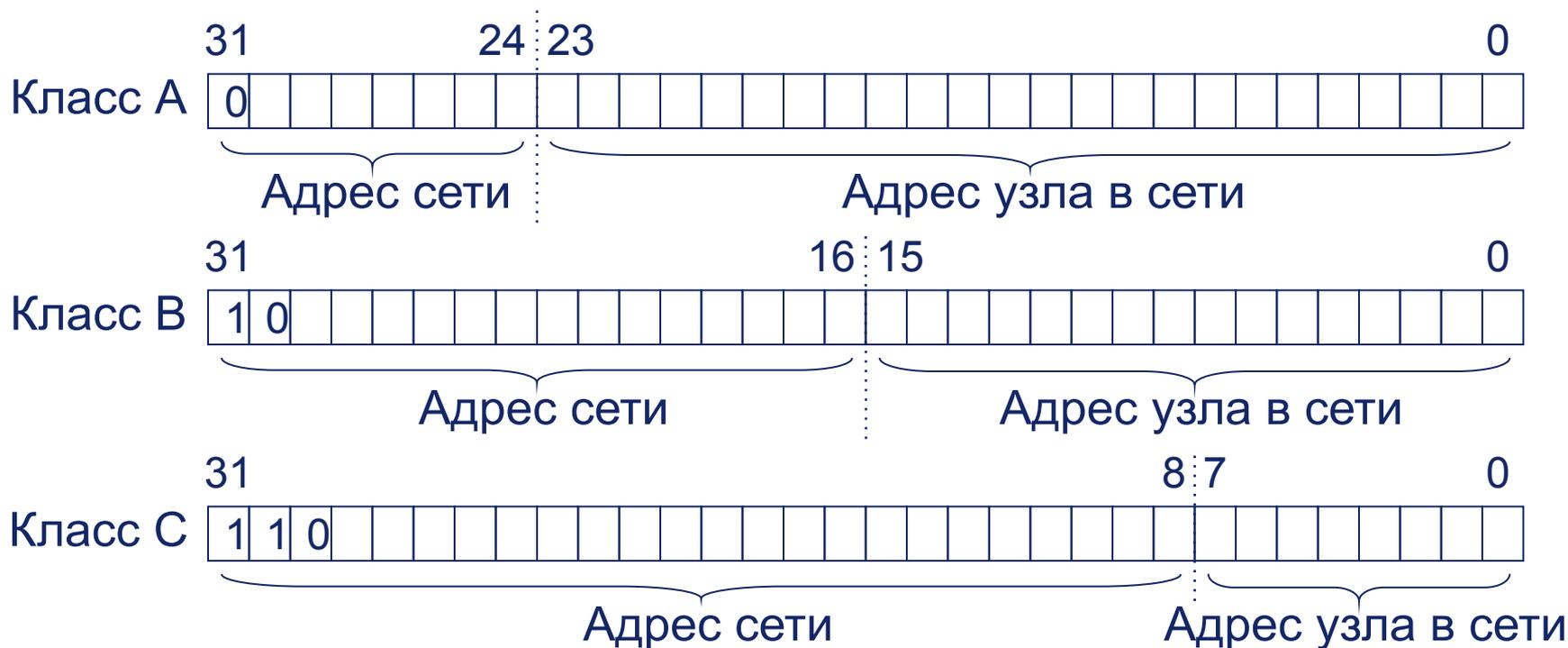


- ❖ Для решения задачи маршрутизации адрес узла должен состоять из 2 частей: адрес сети и адрес узла в сети. В IP-адресе адрес сети размещается в старших битах, адрес узла в сети – в младших
- ❖ Существует 2 способа выделить адрес сети и адрес узла из IP-адреса
  - Использование старших битов IP-адреса для определения его класса
  - Использование маски подсети



# Адресация IP (IPv4)

## Классы адресов...



- ❖ Класс А: 128 ( $2^7$ ) сетей по  $2^{24}-2$  узлов (0-127.х.х.х)
- ❖ Класс В:  $2^{14}$  сетей по  $2^{16}-2$  узлов (128-191.х.х.х)
- ❖ Класс С:  $2^{21}$  сетей по  $2^8-2$  узлов (192-224.х.х.х)



## Классы IP-адресов

- ❖ ARIN определяет три класса IP-адресов:
  - класс А составляют IP-адреса, зарезервированные для правительственных учреждений,
  - класс В — IP-адреса для компаний среднего уровня и
  - класс С — для всех остальных организаций.



## Зарезервированные классы сетей

- ❖ Выше были рассмотрены три класса сетевых адресов, которые назначаются ARIN. На самом деле существует пять классов сетевых адресов.
- ❖ Но только три из них — классы А, В и С — используются коммерчески.
- ❖ Два других класса сетевых адресов зарезервированы.



# Адресация IP (IPv4)

## Специальные адреса

- ❖ 127.x.y.z – "петлевые" адреса, посылая пакет на любой из этих адресов, узел посылает пакет самому себе
  - При этом передача происходит внутри сетевой подсистемы без использования драйвера NIC
- ❖ АдресСети.00...00 (все биты адреса узла в сети равны 0) – используется как адрес сети; узел не может иметь такой адрес
- ❖ АдресСети.11...11 (все биты адреса узла в сети равны 1) – используется как адрес широковещательной рассылки в указанной сети; узел не может иметь такой адрес
- ❖ 255.255.255.255 (все биты IP-адреса равны 1) – адрес широковещательно рассылки в физической сети

## Особые IP-адреса

- ❖ Если все двоичные разряды IP-адреса равны 1, то пакет с таким адресом назначения должен рассылаться всем узлам, находящимся в той же сети, что и источник этого пакета.
- ❖ Такая рассылка называется *ограниченным широковещательным сообщением (limited broadcast)*.

## Особые IP-адреса

- ❖ Если в поле номера узла назначения стоят только единицы, то пакет, имеющий такой адрес, рассылается всем узлам сети с заданным номером сети.
- ❖ Например, пакет с адресом 192.190.21.255 доставляется всем узлам сети 192.190.21.0. Такая рассылка называется *широковещательным сообщением (broadcast)*.



# Адресация IP (IPv4)

## Классы адресов

- ❖ Схема классовой адресации имеет ряд недостатков
  - Современные технологии не позволяют создавать сети с размерами, подходящими для классов А и В ( $2^{21}$  и  $2^{14}$  узлов соответственно) – при назначении сети адреса такого класса 99% IP-адресов не будут в ней использоваться
  - Даже при использовании адресов класса С большие диапазоны IP-адресов не будут использоваться
  - Нужна более гибкая схема, позволяющая выделять диапазоны адресов необходимого размера для назначения адресов внутри одной сети
- ❖ В настоящий момент классы адресов не используются для выделения в IP-адресе адреса сети и адреса узла в сети







# Адресация IP (IPv4)

## Маска подсети...

- ❖ Для каждого узла должны быть определены IP-адрес и маска подсети
- ❖ Все узлы одной сети должны использовать одну маску подсети и иметь одинаковый адрес сети
- ❖ Адрес сети должен содержать как адрес сети, так и маску подсети; используются две формы записи
  - Маску подсети можно указывать в том же виде, что и IP-адрес (значения 4 байт):  
IP-адрес сети: 170.160.0.0  
Маска подсети: 255.240.0.0
  - Можно указывать количество начальных единичных бит в маске подсети сразу после адреса сети (через /):  
IP-адрес сети: 170.160.0.0/12
- ❖ Алгоритм маршрутизации, использующий маски подсети, называется Classless InterDomain Routing (CIDR) – бесклассовая маршрутизация



# Адресация IP (IPv4)

## Маска подсети...

- ❖ Маска подсети позволяет разбить имеющийся диапазон адресов на несколько сетей
- ❖ Сеть: 170.170.170.0/24 (256 адресов, 254 узла) можно разбить на
  - 2 сети размером 128 адресов (126 узлов)
  - 4 сети размером 64 адреса (62 узла)
  - 8 сетей размером 32 адреса (30 узлов)
  - 16 сетей размером 16 адресов (14 узлов)
  - 32 сети размером 8 адресов (6 узлов)
  - 64 сетей размером 4 адреса (2 узла)





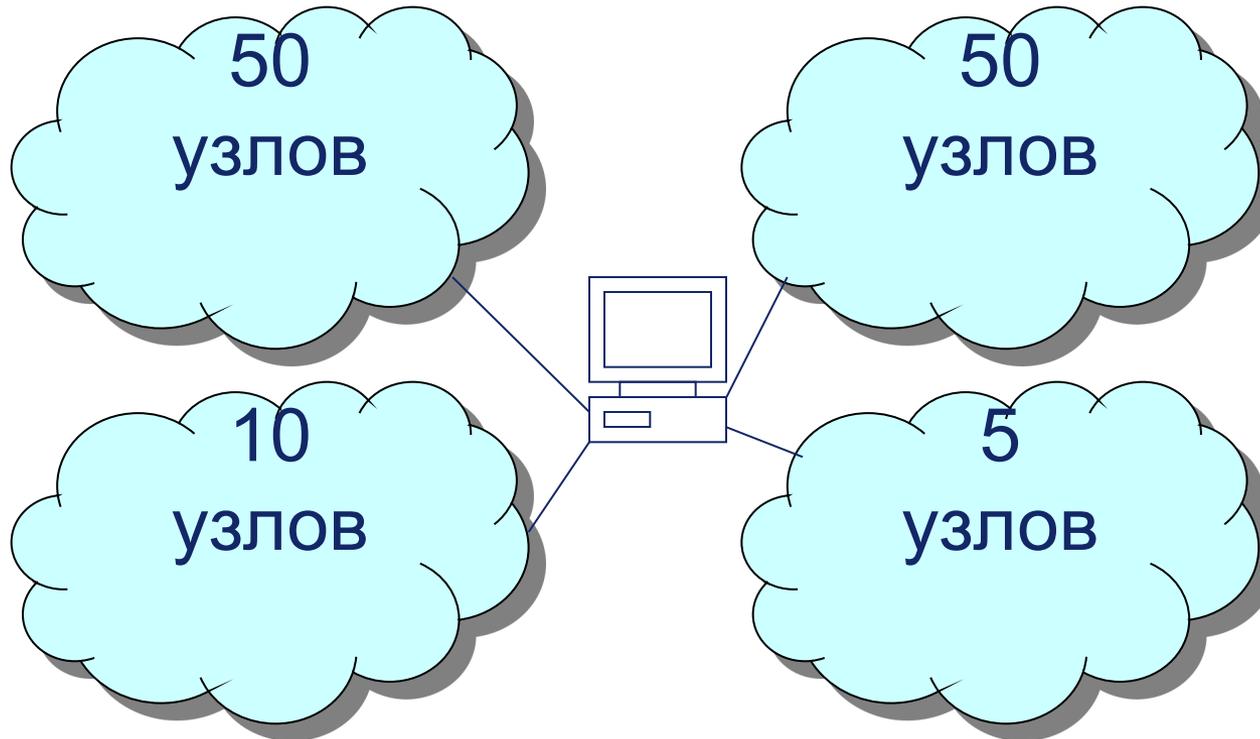
# Адресация IP (IPv4) Маска подсети...



- ❖ При построении интерсети можно использовать одинаковую маску подсети во всех сетях, либо различные маски



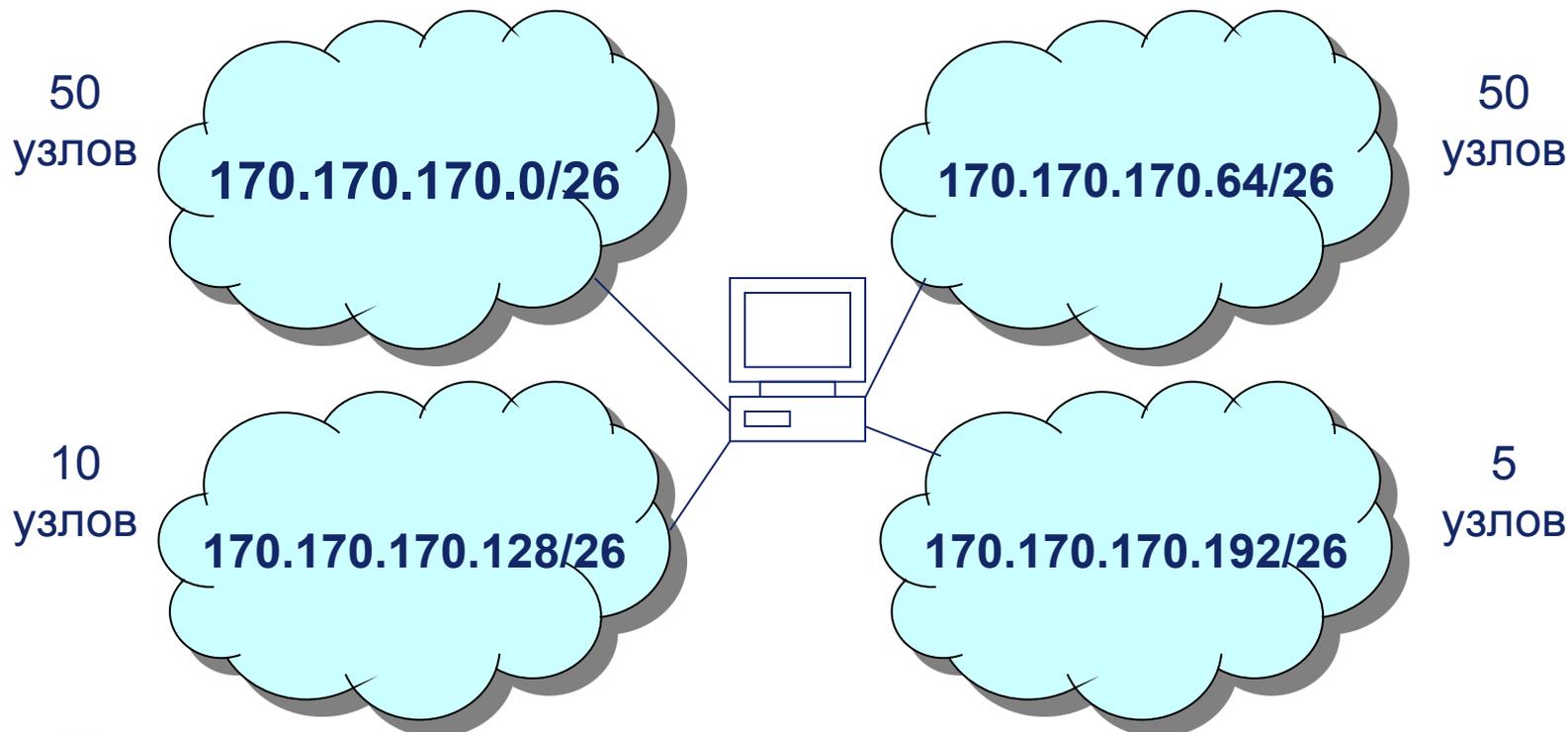
# Адресация IP (IPv4) Маска подсети...



- ❖ Предположим, имеется диапазон адресов 170.170.170.0/24 и необходимо обеспечить адресацию устройств в 4 сетях размером 50, 50, 10 и 5 узлов



# Адресация IP (IPv4) Маска подсети...

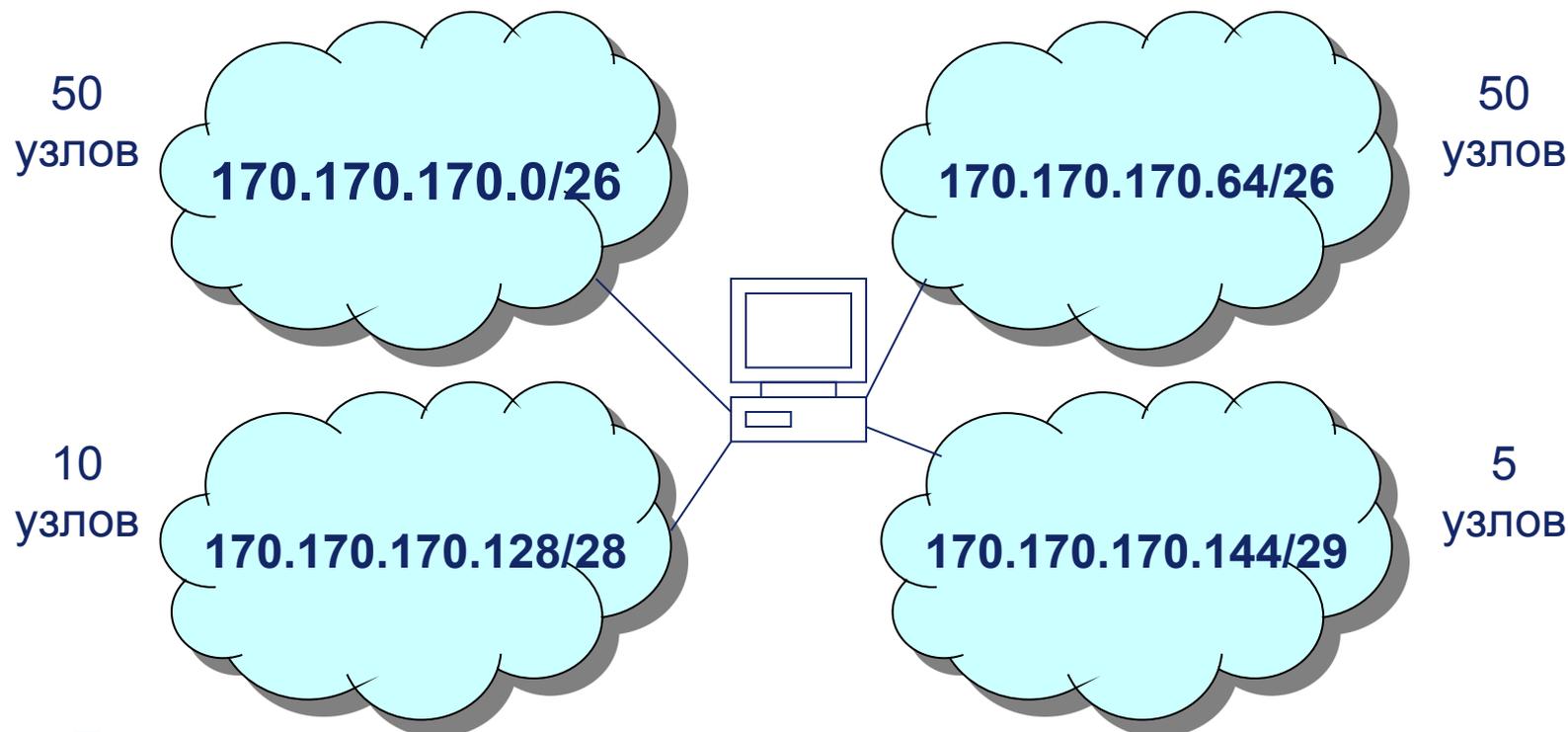


- ❖ При использовании одинаковой маски подсети нужно выделить минимум 2 бита для адресации 4 сетей и минимум 6 бит для адресации 50 узлов в наибольшей сети
  - будет создано 4 подсети по 64 устройства, что дает использование всего диапазона адресов



# Адресация IP (IPv4)

## Маска подсети



- ❖ При использовании разных масок подсети нужно выделить минимум 6 бит для адресации 50 узлов, 4 – для адресации 10 узлов и 3 – для адресации 5 узлов
  - будет создано 2 сети размером 64 адреса и по одной – размеров 16 и 8 адресов, что оставляет свободными 104 адреса



# Адресация IP (IPv4)

## Частные адреса

- ❖ Private Address Space (пространство частных адресов) – множество IP-адресов, не используемых в Интернете и предназначенных для использования в частных сетях
  - 10.0.0.0/8 (10.0.0.0-10.255.255.255)
  - 172.16.0.0/12 (172.16.0.0-172.31.255.255)
  - 192.168.0.0/24 (192.168.0.0-192.168.255.255)
- ❖ Множество организаций используют внутри своих сетей одно и то же множество адресов, что позволяет экономить IP-адреса
- ❖ Для обеспечения подключения сети, использующей частные адреса, к Интернет достаточно одного маршрутизатора, имеющего общий ("реальный") адрес



# Порядок распределения IP-адресов

- ❖ Номера сетей назначаются либо централизованно, если сеть является частью Internet, либо произвольно, если сеть работает автономно.
- ❖ Номера узлов и в том и в другом случае администратор волен назначать по своему усмотрению, не выходя, разумеется, из разрешенного для этого класса сети диапазона.

# Дефицит IP-адресов

- ❖ Переход на новую версию IPv6, в которой резко расширяется адресное пространство за счет использования 16-байтных адресов.
- ❖ Однако и текущая версия IPv4 поддерживает технологии, направленные на более экономное расходование IP-адресов.
  - технология *бесклассовой междоменной маршрутизации (Classless Inter-Domain Routing, CIDR)* - отказывается от традиционной концепции разделения адресов протокола IP на классы, что позволяет получать в пользование столько адресов, сколько реально необходимо.
  - *трансляция адресов (Network Address Translator, NAT)*. Узлам внутренней сети адреса назначаются произвольно так, как будто эта сеть работает автономно. Внутренняя сеть соединяется с Internet через некоторое промежуточное устройство (маршрутизатор, межсетевой экран).



# Автоматизация процесса назначения IP-адресов

- ❖ Протокол *Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)* автоматизирует процесс назначения IP-адресов.
- ❖ При динамическом распределении адресов DHCP-сервер выдает адрес клиенту на ограниченное время, называемое *временем аренды (lease duration)*, что дает возможность впоследствии повторно использовать этот IP-адрес для назначения другому компьютеру.



# АДРЕСАЦИЯ В IP6



# ПРИНЦИПЫ МАРШРУТИЗАЦИИ



# Принципы маршрутизации

- ❖ Важнейшей задачей сетевого уровня является маршрутизация — передача пакетов между двумя конечными узлами в составной сети.



# Протоколы маршрутизации

- ❖ С помощью протоколов маршрутизации маршрутизаторы составляют карту связей сети той или иной степени подробности.
- ❖ Задача маршрутизации решается на основе анализа таблиц маршрутизации, размещенных во всех маршрутизаторах и конечных узлах сети.

# Маршрутизация IP

- ❖ Алгоритм маршрутизации использует таблицу маршрутизации, которая должна содержать информацию о маршрутах, включающую
  - сеть назначения
  - следующий шаг в направлении сети назначения
  - стоимость (метрику) маршрута
- ❖ Таблица маршрутизации позволяет определить
  - узлу с каким сетевым адресом следует переслать пакет
  - какой NIC следует использовать



# Маршрутизация IP

## Таблица маршрутизации

- ❖ Описание маршрута в таблице маршрутизации IP содержит, как минимум, следующие поля
  - Адрес сети назначения
  - Маска подсети
  - Следующий шаг
  - NIS, который следует использовать для передачи
  - Стоимость (метрика) маршрута



# Маршрутизация IP

## Алгоритм выбора маршрута

- ❖ Входные данные
  - Таблица маршрутизации
  - IP-адрес получателя
- ❖ Шаги алгоритма
  1. Для каждого маршрута вычисляется побитовое "И" поля "маска подсети" и IP-адреса получателя. Маршруты, для которых результат совпадает со значением поля "адрес сети назначения", считаются подходящими.
    - Если подходящих маршрутов нет, IP фиксирует ошибку маршрутизации
  2. Если маршрутов, отобранных на шаге 1, несколько, из них выбираются маршруты с максимальным количеством единиц в маске подсети
  3. Если маршрутов, отобранных на шаге 2, несколько, из них выбираются маршруты с максимальной метрикой
  4. Если маршрутов, отобранных на шаге 3, несколько, из них выбирается произвольный маршрут



# Маршрутизация IP

## Таблица маршрутизации

- ❖ Таблица маршрутизации содержит
  - Автоматически генерируемые маршруты (на основании параметров узла)
  - Статические маршруты – маршруты, сформировавшиеся в результате выполнения специальных команд
  - Динамические маршруты – маршруты, сформированные на основании информации, которой маршрутизаторы обмениваются между собой согласно специальным протоколам маршрутизации



# Маршрутизация IP

## Генерируемые маршруты...

- ❖ Автоматически генерируемые маршруты создаются на основании имеющихся параметров сетевого подключения
  - IP-address (IP-адрес)
  - Subnet Mask (Маска подсети)
  - Gateway (Шлюз по умолчанию)
- ❖ Мы рассмотрим автоматически генерируемые маршруты в ОС Windows (семейство NT/2000/...)
  - Возьмем следующий пример
    - IP-address: 192.168.0.200
    - Subnet Mask: 255.255.255.0
    - Gateway: 192.168.0.1



# Маршрутизация IP

## Генерируемые маршруты...

Сеть назначения	Маска подсети	Следующий шаг	Интерфейс	М
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.200	1

### ❖ Маршрут по умолчанию

- Значения полей
  - Сеть назначения: 0.0.0.0
  - Маска подсети: 0.0.0.0
  - Следующий шаг: IP-адрес шлюза по умолчанию
  - Интерфейс: IP-адрес NIC, подключенного к той же сети, к которой подключен шлюз по умолчанию
- Является подходящим для любого IP-адреса получателя
- Присутствует только если задан Gateway (шлюз по умолчанию)

IP-address:  
192.168.0.200  
Subnet Mask:  
255.255.255.0  
Gateway:  
192.168.0.1



# Маршрутизация IP

## Генерируемые маршруты...

Сеть назначения	Маска подсети	Следующий шаг	Интерфейс	М
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.200	1
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1

### ❖ Маршрут для петлевых адресов

- Значения полей
  - Сеть назначения: 127.0.0.0
  - Маска подсети: 255.0.0.0
  - Следующий шаг: 127.0.0.1
  - Интерфейс: 127.0.0.1
- Сетевая подсистема поддерживает специальный "петлевой" (loopback) NIC. Кадр, отправленный через него, считается немедленно полученным (от него же). Петлевому NIC назначается IP-адрес 127.0.0.1
- Маршрут для петлевых адресов является подходящим для адресов получателя 127.x.y.z и передает все пакеты, отправленные по данным адресам, через петлевой интерфейс

IP-address:  
192.168.0.200  
Subnet Mask:  
255.255.255.0  
Gateway:  
192.168.0.1



# Маршрутизация IP

## Генерируемые маршруты...

Сеть назначения	Маска подсети	Следующий шаг	Интерфейс	М
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.200	1
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.0	255.255.255.0	192.168.0.200	192.168.0.200	1

❖ Маршрут в непосредственно подключенную сеть

▪ Значения полей

- Сеть назначения: адрес непосредственно подключенной сети
- Маска подсети: маска непосредственно подключенной сети
- Следующий шаг: IP-адрес подключенного к данной сети NIC
- Интерфейс: IP-адрес подключенного к данной сети NIC

IP-address:

192.168.0.200

Subnet Mask:

255.255.255.0

Gateway:

192.168.0.1

❖ Для доставки по данному маршруту узел передает пакет непосредственно получателю



# Маршрутизация IP

## Генерируемые маршруты...

Сеть назначения	Маска подсети	Следующий шаг	Интерфейс	М
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.200	1
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.0	255.255.255.0	192.168.0.200	192.168.0.200	1
192.168.0.200	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1

### ❖ Маршрут к локальному хосту

- Значения полей
  - Сеть назначения: адрес узла
  - Маска подсети: 255.255.255.255 (это означает, что данный маршрут является подходящим только для одного IP-адреса получателя, в точности совпадающего со значением поля "Адрес сети")
  - Следующий шаг: 127.0.0.1
  - Интерфейс: 127.0.0.1
- Все пакеты, отправленные на локальный адрес, доставляются через петлевой интерфейс

**IP-address:**  
192.168.0.200  
**Subnet Mask:**  
255.255.255.0  
**Gateway:**  
192.168.0.1



# Маршрутизация IP

## Генерируемые маршруты...

Сеть назначения	Маска подсети	Следующий шаг	Интерфейс	М
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.200	1
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.0	255.255.255.0	192.168.0.200	192.168.0.200	1
192.168.0.200	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.255	255.255.255.255	192.168.0.200	192.168.0.200	1

- ❖ Маршрут широковещательной рассылки в непосредственно подключенной сети
  - Значения полей
    - Сеть назначения: адрес широковещательной рассылки
    - Маска подсети: 255.255.255.255
    - Следующий шаг: IP-адрес подключенного к данной сети NIC
    - Интерфейс: IP-адрес подключенного к данной сети NIC

**IP-address :**  
192.168.0.200

**Subnet Mask :**  
255.255.255.0

**Gateway :**  
192.168.0.1



# Маршрутизация IP

## Генерируемые маршруты...

Сеть назначения	Маска подсети	Следующий шаг	Интерфейс	М
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.200	1
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.0	255.255.255.0	192.168.0.200	192.168.0.200	1
192.168.0.200	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.255	255.255.255.255	192.168.0.200	192.168.0.200	1
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.0.200	192.168.0.200	1

- ❖ Маршрут групповой рассылки
  - Значения полей
    - Сеть назначения: 224.0.0.0
    - Маска подсети: 240.0.0.0
    - Следующий шаг: IP-адрес NIC
    - Интерфейс: IP-адрес NIC

IP-address :  
192.168.0.200  
Subnet Mask :  
255.255.255.0  
Gateway :  
192.168.0.1



# Маршрутизация IP

## Генерируемые маршруты...

Сеть назначения	Маска подсети	Следующий шаг	Интерфейс	М
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1	192.168.0.200	1
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.0	255.255.255.0	192.168.0.200	192.168.0.200	1
192.168.0.200	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	1
192.168.0.255	255.255.255.255	192.168.0.200	192.168.0.200	1
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.0.200	192.168.0.200	1
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.0.200	192.168.0.200	1

❖ **Маршрут ограниченной широковещательной рассылки**

▪ **Значения полей**

- Сеть назначения: 255.255.255.255
- Маска подсети: 255.255.255.255
- Следующий шаг: IP-адрес NIC
- Интерфейс: IP-адрес NIC

**IP-address :**

192.168.0.200

**Subnet Mask :**

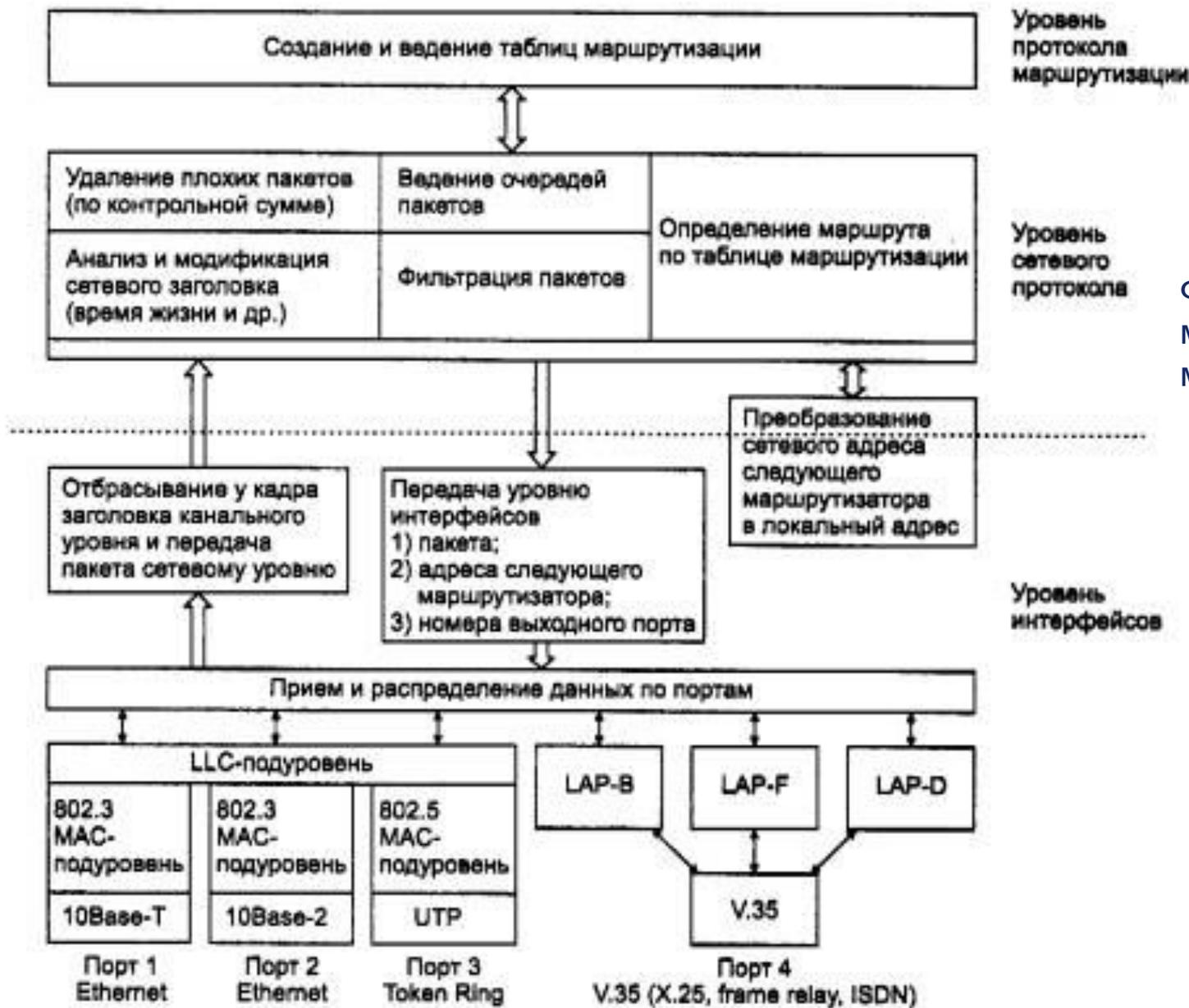
255.255.255.0

**Gateway :**

192.168.0.1



# ФУНКЦИИ МАРШРУТИЗАТОРА



Функциональная модель маршрутизатора



# Уровень интерфейсов

- ❖ На нижнем уровне маршрутизатор, как и любое устройство, подключенное к сети, обеспечивает физический интерфейс со средой передачи, включая согласование уровней электрических сигналов, линейное и логическое кодирование, оснащение определенным типом разъема.
- ❖ В разных моделях маршрутизаторов часто предусматриваются различные наборы физических интерфейсов, представляющих собой комбинацию портов для подсоединения локальных и глобальных сетей.
- ❖ С каждым интерфейсом для подключения локальной сети неразрывно связан определенный протокол канального уровня - например, *Ethernet*, *Token Ring*, *FDDI*.



# Уровень сетевого протокола

- ❖ На сетевом уровне выполняется одна из важнейших функций маршрутизатора - фильтрация трафика.
- ❖ Маршрутизатор, обладая более высоким интеллектом, нежели мосты и коммутаторы, позволяет задавать и может обрабатывать значительно более сложные правила фильтрации.
- ❖ Пакет сетевого уровня, находящийся в поле данных кадра, для мостов/коммутаторов представляется неструктурированной двоичной последовательностью.
- ❖ Маршрутизаторы же, программное обеспечение которых содержит модуль сетевого протокола, способны производить разбор и анализ отдельных полей пакета.
- ❖ В случае если интенсивность поступления пакетов выше интенсивности, с которой они обрабатываются, пакеты могут образовать очередь.



## Уровень сетевого протокола

- ❖ Программное обеспечение маршрутизатора может реализовать различные дисциплины обслуживания очередей пакетов: в порядке поступления по принципу «первый пришел - первым обслужен» (*First Input First Output, FIFO*), случайное раннее обнаружение, когда обслуживание идет по правилу FIFO, но при достижении длиной очереди некоторого порогового значения вновь поступающие пакеты отбрасываются (*Random Early Detection, RED*), а также различные варианты приоритетного обслуживания.



## Уровень сетевого протокола

- ❖ К сетевому уровню относится основная функция маршрутизатора - определение маршрута пакета.
- ❖ По номеру сети, извлеченному из заголовка пакета, модуль сетевого протокола находит в таблице маршрутизации строку, содержащую сетевой адрес следующего маршрутизатора, и номер порта, на который нужно передать данный пакет, чтобы он двигался в правильном направлении.
- ❖ Если в таблице отсутствует запись о сети назначения пакета и к тому же нет записи о маршрутизаторе по умолчанию, то данный пакет отбрасывается.



# Уровень протоколов маршрутизации

- ❖ Сетевые протоколы активно используют в своей работе таблицу маршрутизации, но ни ее построением, ни поддержанием ее содержимого не занимаются.
- ❖ Эти функции выполняют протоколы маршрутизации.
- ❖ На основании этих протоколов маршрутизаторы обмениваются информацией о топологии сети, а затем анализируют полученные сведения, определяя наилучшие по тем или иным критериям маршруты.
- ❖ Результаты анализа и составляют содержимое таблиц маршрутизации.
- ❖ Помимо перечисленных выше функций, на маршрутизаторы могут быть возложены и другие обязанности, например операции, связанные с фрагментацией.
- ❖ Более детально работа маршрутизаторов будет описана при рассмотрении конкретных протоколов сетевого уровня.



# Протоколы маршрутизации

- ❖ Многошаговый подход — маршрутизация от источника (Source Routing).
- ❖ В соответствии с ним узел-источник задает в отправляемом в сеть пакете полный маршрут его следования через все промежуточные маршрутизаторы.
- ❖ При использовании многошаговой маршрутизации нет необходимости строить и анализировать таблицы маршрутизации.



# Протоколы маршрутизации

- ❖ *Одношаговые* алгоритмы.
  - при выборе рационального маршрута определялся только следующий (ближайший) маршрутизатор.
- ❖ В соответствии с этим подходом маршрутизация выполняется по распределенной схеме — каждый маршрутизатор ответственен за выбор только одного шага маршрута, а окончательный маршрут складывается в результате работы всех маршрутизаторов, через которые проходит данный пакет.



# Протоколы маршрутизации

- ❖ Одношаговые алгоритмы в зависимости от способа формирования таблиц маршрутизации делятся на три класса:
  - алгоритмы фиксированной (или статической) маршрутизации;
  - алгоритмы простой маршрутизации;
  - алгоритмы адаптивной (или динамической) маршрутизации.



# Алгоритмы фиксированной маршрутизации

все записи в таблице маршрутизации являются статическими.

- ❖ Таблица, как правило, создается в процессе загрузки, в дальнейшем она используется без изменений до тех пор, пока ее содержимое не будет отредактировано вручную.
  - Различают одномаршрутные таблицы, в которых для каждого адресата задан один путь, и многомаршрутные таблицы, определяющие несколько альтернативных путей для каждого адресата.
  - В многомаршрутных таблицах должно быть задано правило выбора одного из маршрутов. Чаще всего один путь является основным, а остальные — резервными.



# Алгоритмы простой маршрутизации

таблица маршрутизации либо вовсе не используется, либо строится без участия протоколов маршрутизации.

- ❖ Выделяют три типа простой маршрутизации:
  - случайная маршрутизация, когда прибывший пакет посылается в первом попавшем случайном направлении, кроме исходного;
  - лавинная маршрутизация, когда пакет широковещательно посылается по всем возможным направлениям, кроме исходного (аналогично обработке мостами кадров с неизвестным адресом);
  - маршрутизация по предыдущему опыту, когда выбор маршрута осуществляется по таблице, но таблица строится по принципу моста путем анализа адресных полей пакетов, появляющихся на входных портах.



# Адаптивные алгоритмы

в сети отсутствуют какие-либо выделенные маршрутизаторы, которые собирали бы и обобщали топологическую информацию: эта работа распределена между всеми маршрутизаторами

# Адаптивные алгоритмы

делятся на две группы:

- дистанционно-векторные алгоритмы (Distance Vector Algorithms, DVA) - каждый маршрутизатор периодически и широковещательно рассылает по сети вектор, компонентами которого являются расстояния от данного маршрутизатора до всех известных ему сетей;
- алгоритмы состояния связей (Link State Algorithms, LSA) - обеспечивают каждый маршрутизатор информацией, достаточной для построения точного графа связей сети.



# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАРШРУТИЗАТОРОВ И КОНЦЕНТРАТОРОВ



# КЛАССИФИКАЦИЯ МАРШРУТИЗАТОРОВ ПО ОБЛАСТЯМ ПРИМЕНЕНИЯ



# Магистральные маршрутизаторы (backbone routers)

- ❖ *Магистральные маршрутизаторы (backbone routers)* предназначены для построения центральной сети корпорации.
- ❖ Центральная сеть может состоять из большого количества локальных сетей, разбросанных по разным зданиям и использующих самые разнообразные сетевые технологии, типы компьютеров и операционных систем.
- ❖ Магистральные маршрутизаторы - это наиболее мощные устройства, способные обрабатывать несколько сотен тысяч или даже несколько миллионов пакетов в секунду, имеющие большое количество интерфейсов локальных и глобальных сетей.
- ❖ Примерами магистральных маршрутизаторов могут служить маршрутизаторы Backbone Concentrator Node (BCN) компании Nortel Networks (ранее Bay Networks), Cisco 7500, Cisco 12000.



# Маршрутизаторы региональных отделений

- ❖ *Маршрутизаторы региональных отделений* соединяют региональные отделения между собой и с центральной сетью.
- ❖ Сеть регионального отделения, так же как и центральная сеть, может состоять из нескольких локальных сетей.
- ❖ Такой маршрутизатор обычно представляет собой некоторую упрощенную версию магистрального маршрутизатора.
- ❖ Примерами маршрутизаторов региональных отделений могут служить маршрутизаторы BLN, ASN компании Nortel Networks, Cisco 3600, Cisco 2500, NetBuilder II компании 3Com. Это наиболее обширный класс выпускаемых маршрутизаторов, характеристики которых могут приближаться к характеристикам магистральных маршрутизаторов, а могут и опускаться до характеристик маршрутизаторов удаленных офисов.



# Маршрутизаторы удаленных офисов

- ❖ *Маршрутизаторы удаленных офисов* соединяют, как правило, единственную локальную сеть удаленного офиса с центральной сетью или сетью регионального отделения по глобальной связи.
- ❖ В максимальном варианте такие маршрутизаторы могут поддерживать и два интерфейса локальных сетей.
- ❖ Как правило, интерфейс локальной сети - это Ethernet 10 Мбит/с, а интерфейс глобальной сети - выделенная линия со скоростью 64 Кбит/с, 1,544 или 2 Мбит/с.
- ❖ Маршрутизатор удаленного офиса может поддерживать работу по коммутируемой телефонной линии в качестве резервной связи для выделенного канала.
- ❖ Типичными представителями этого класса являются маршрутизаторы Nautika компании Nortel Networks, Cisco 1600, Office Connect компании 3Com, семейство Pipeline компании Ascend.



# Маршрутизаторы локальных сетей (коммутаторы 3-го уровня)

- ❖ *Маршрутизаторы локальных сетей (коммутаторы 3-го уровня)* предназначены для разделения крупных локальных сетей на подсети.
- ❖ Основное требование, предъявляемое к ним, - высокая скорость маршрутизации, так как в такой конфигурации отсутствуют низкоскоростные порты, такие как модемные порты 33,6 Кбит/с или цифровые порты 64 Кбит/с.
- ❖ Примерами коммутаторов 3-го уровня служат коммутаторы CoreBuilder 3500 компании 3Com, Accelar 1200 компании Nortel Networks, Waveswitch 9000 компании Plaintree, Turboiron Switching Router компании Foudry Networks.

# КОРПОРАТИВНЫЕ МОДУЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАТОРЫ

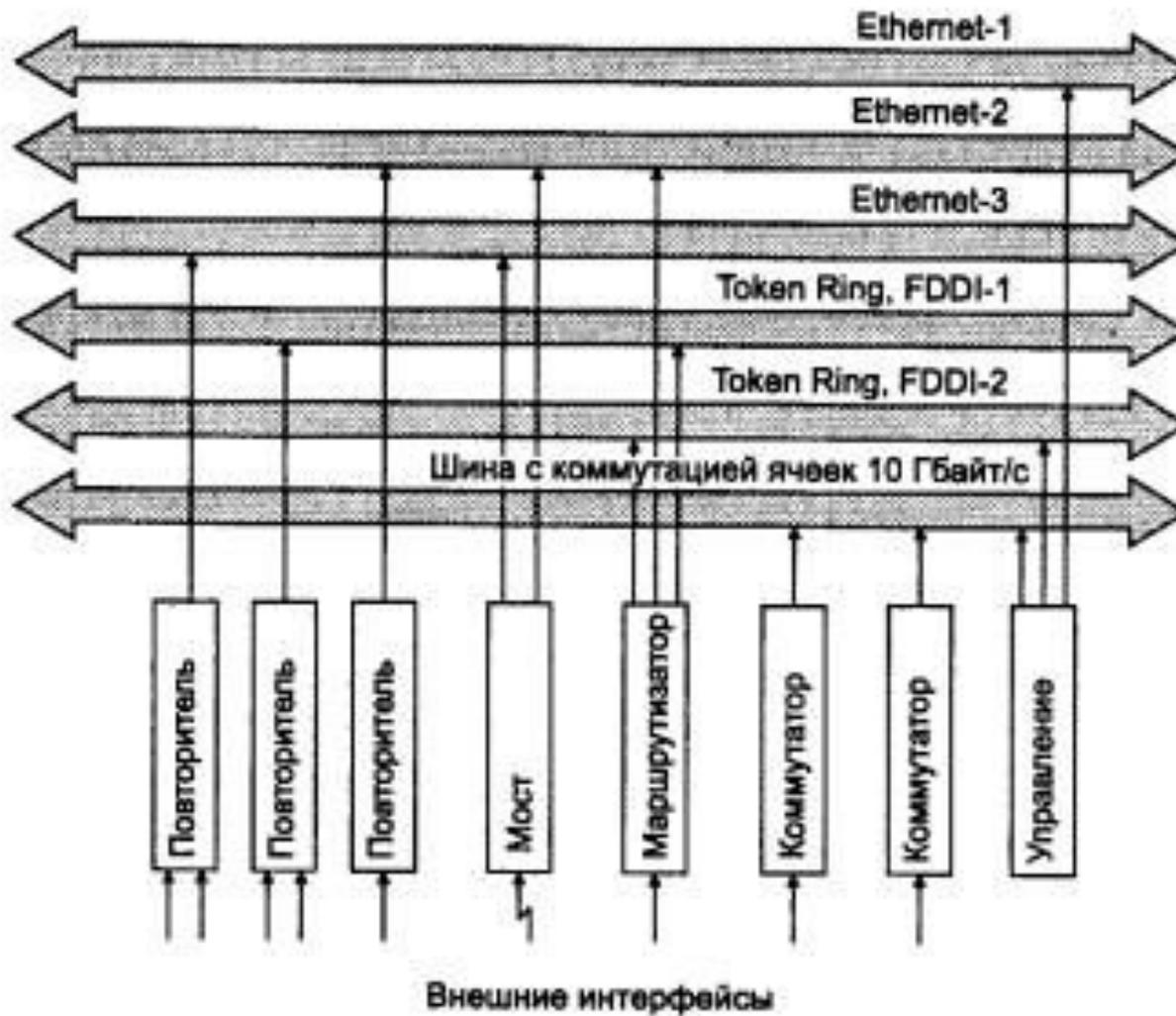
# Концентраторы

- ❖ Большинство крупных фирм-производителей сетевого оборудования предлагает модульные концентраторы в качестве «коммутационного центра» корпоративной сети.
- ❖ Такие концентраторы отражают тенденцию перехода от полностью распределенных локальных сетей 70-х годов на коаксиальном кабеле к централизованным коммуникационным решениям, активно воздействующим на передачу пакетов между сегментами и сетями.
- ❖ Модульные корпоративные концентраторы представляют собой многофункциональные устройства, которые могут включать несколько десятков модулей различного назначения: повторителей разных технологий, коммутаторов, удаленных мостов, маршрутизаторов и т. п., которые объединены в одном устройстве с модулями-агентами протокола SNMP, и, следовательно, позволяют централизованно объединять, управлять и обслуживать большое количество устройств и сегментов, что очень удобно в сетях большого размера.

# Концентраторы

- ❖ Модульный концентратор масштаба предприятия обычно обладает внутренней шиной или набором шин очень высокой производительности - до нескольких десятков гигабит в секунду, что позволяет реализовать одновременные соединения между модулями с высокой скоростью, гораздо большей, чем скорость внешних интерфейсов модулей.
- ❖ Основная идея разработчиков таких устройств заключается в создании программно настраиваемой конфигурации связей в сети, причем сами связи между устройствами и сегментами могут также поддерживаться с помощью различных методов: побитовой передачи данных повторителями, передачи кадров коммутаторами и передачи пакетов сетевых протоколов маршрутизаторами.

# Пример





# Стирание граней между коммутаторами и маршрутизаторами

- ❖ В классическом понимании терминов коммутатор - это устройство, принимающее решение о продвижении пакетов на основании заголовков протоколов 2-го уровня, то есть протоколов типа Ethernet или FDDI, а маршрутизатор - устройство, принимающее аналогичное решение на основании заголовков протоколов 3-го уровня, то есть уровня протоколов IP или IPX.
- ❖ В настоящее время наблюдается отчетливая тенденция по совмещению в одном устройстве функций коммутатора и маршрутизатора.



# Соотношение коммутации и маршрутизации в корпоративных сетях

- ❖ До недавнего времени сложившимся информационным потокам корпоративной сети наилучшим образом соответствовала следующая иерархическая структура.
- ❖ На нижнем уровне (уровне отделов) располагались сегменты сети, построенные на быстро работающих повторителях и коммутаторах.
- ❖ Сегменты включали в себя как рабочие станции так и серверы.
- ❖ В большинстве случаев было справедливо эмпирическое соотношение 80/20, в соответствии с которым основная часть трафика (80 %) циркулировала внутри сегмента, то есть порождалась запросами пользователей рабочих станций к серверам своего же сегмента.
- ❖ На более высоком уровне располагался маршрутизатор, к которому подключалось сравнительно небольшое количество внутренних сетей, построенные на коммутаторах.
- ❖ Через порты маршрутизатора проходил трафик обращений рабочих станций одних сетей к серверам других сетей.



# Соотношение коммутации и маршрутизации в корпоративных сетях

- ❖ Сегодня ситуация в корпоративных сетях быстро меняется. Количество пользователей стремительно растет. Пользователи избавляются от устаревающих текстовых приложений, отдавая предпочтение Web-интерфейсу.
- ❖ А завтра эти же пользователи будут работать с аудио, видео, push и другими, абсолютно новыми приложениями, основанными на новых технологиях распространения пакетов, таких как IP Multicast и RSVP.
- ❖ Не работает и старое правило 80/20, сегодня большое количество информации берется из публичных серверов Internet, а также из Web-серверов других подразделений предприятия, создавая большой межсетевой трафик.
- ❖ Существующие сети не оптимизировались для таких непредсказуемых потоков трафика, когда каждый может общаться почти с каждым.
- ❖ А с проникновением в корпоративные сети технологии Gigabit Ethernet эта проблема обострится еще больше.
- ❖ Таким образом, сегодня образовался большой разрыв между производительностью типичного маршрутизатора и типичного коммутатора.
- ❖ В этой ситуации возможны два решения: либо отказаться вообще от маршрутизации, либо увеличить ее производительность.



**Спасибо за  
внимание!**