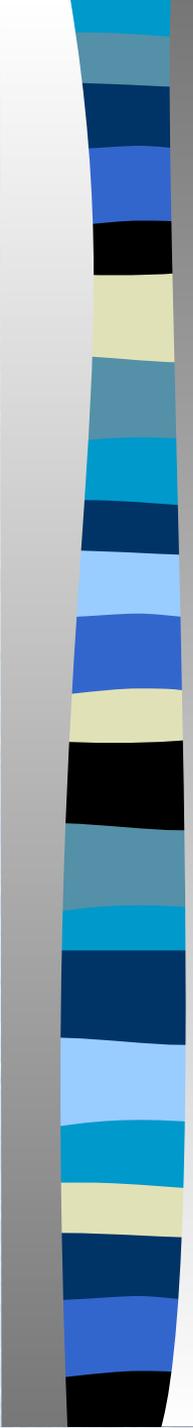


Тема 3. Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Основные функции
- Структура пакета
- Таблицы маршрутизации
- Маршрутизация без использования масок
- Сети и подсети
- Маршрутизация с использованием масок
- Фрагментация

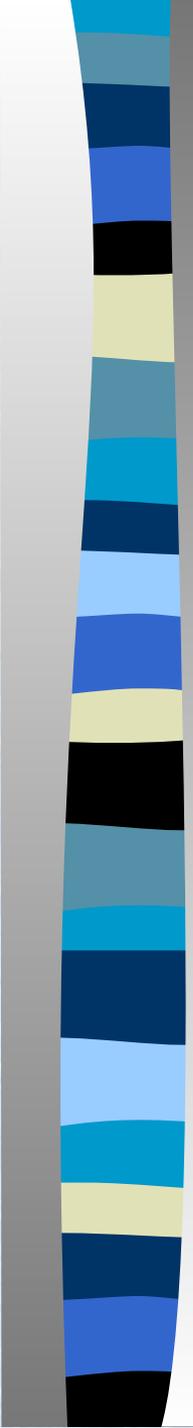


Протокол межсетевого взаимодействия (*Internet Protocol, IP*) RFC 791

Модули IP устанавливаются на всех конечных станциях и маршрутизаторах сети

Основные функции:

- **маршрутизация** — передача дейтаграмм от отправителя к получателям *МЕЖДУ СЕТЯМИ* через составную сеть
- **адресация** — идентификация систем в сети по их IP-адресам
- **инкапсуляция** — упаковку пакета данных транспортного уровня в дейтаграмму
- **поддержка интерфейса** с сетевыми технологиями составляющих сетей
- **идентификация протокола** транспортного уровня: поддержка интерфейса с протоколами транспортного уровня TCP и UDP
- динамическая **фрагментация** пакетов при передаче их между сетями с различными максимально допустимыми значениями MTU



Протокол IP - протокол без установления соединений:

- Дейтаграмма
- Принцип “best effort”
- отсутствует квитирование — обмен подтверждениями между отправителем и получателем,
- нет процедуры упорядочивания, повторных передач и др.

Принципы маршрутизации

Альтернативные маршруты

Выбор маршрута на основании **таблицы маршрутизации + критерий выбора маршрута**

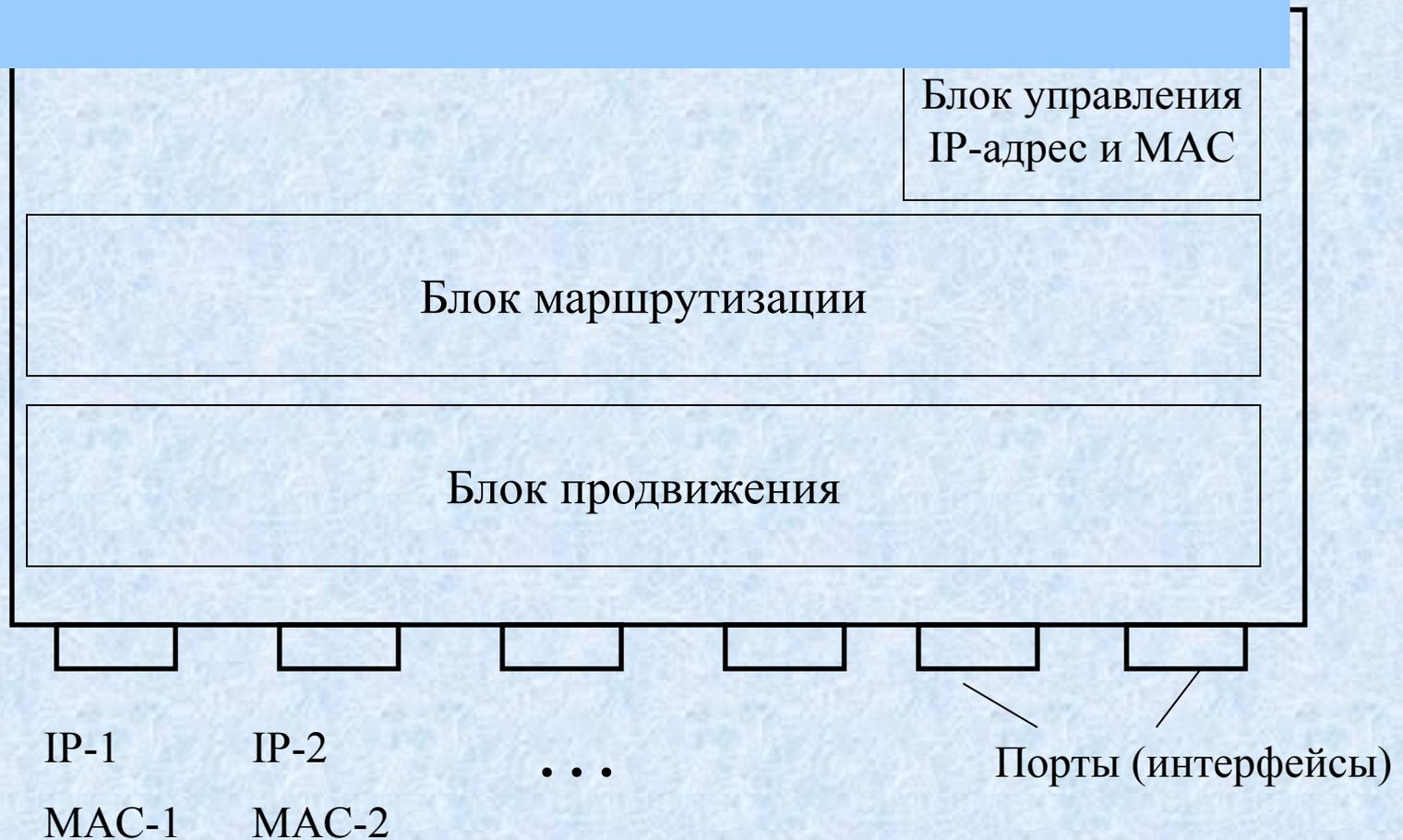
Одношаговая маршрутизация

Адрес узла назначения	Адрес следующего маршрутизатора

Маршрутизатор

- Строит таблицы (протоколы маршрутизации, маршрутизирующие протоколы – OSPF, RIP...)
- Перемещает пакеты (протокол межсетевого взаимодействия – IP)

- Интерфейс маршрутизатора может не иметь ни одного IP-адреса и ни одного MAC-адреса
- Один интерфейс маршрутизатора может иметь несколько IP-адресов и несколько MAC-адресов



Принципы маршрутизации

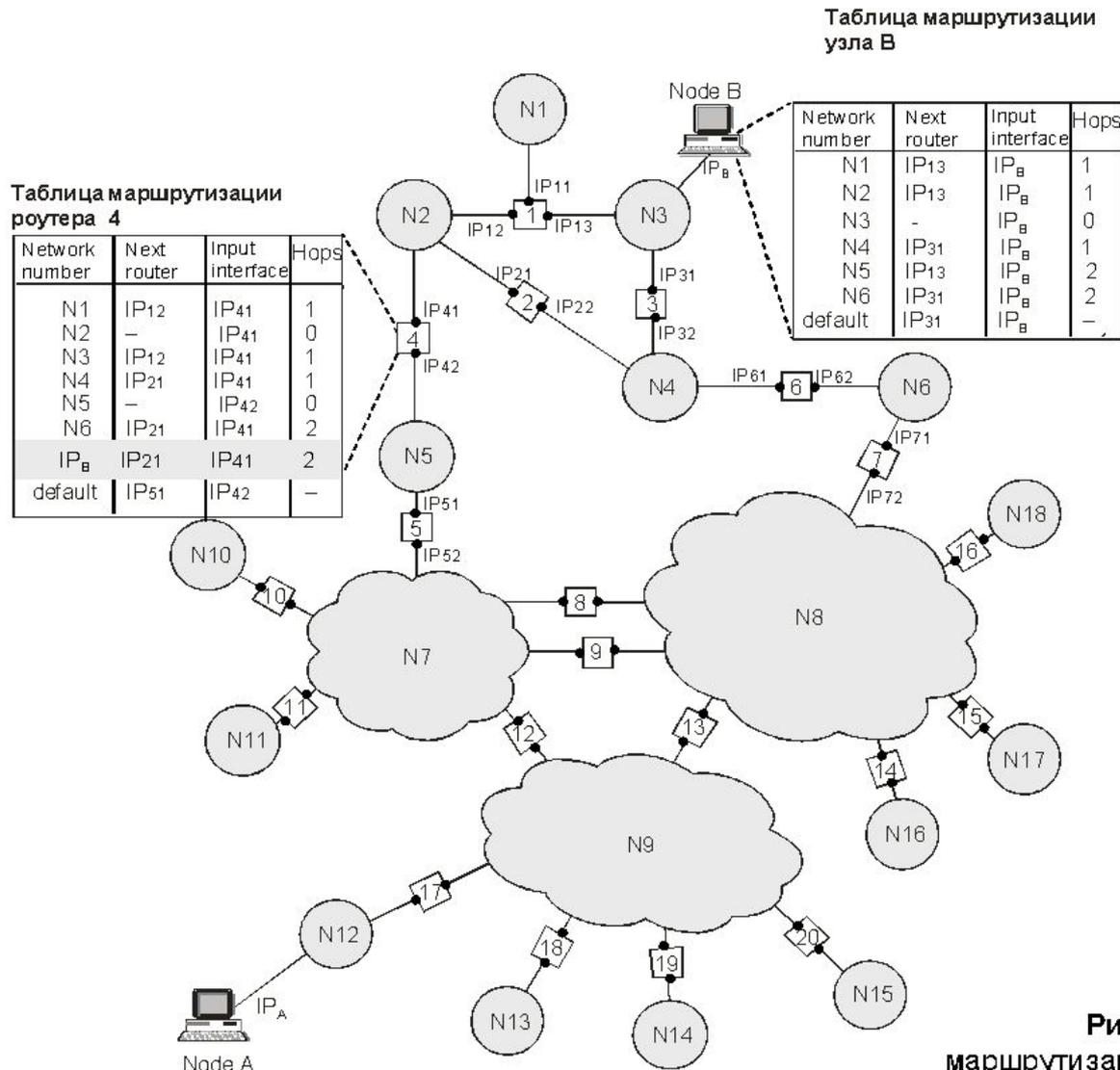


Рис.3 . Принципы маршрутизации в составной сети

Упрощенная таблица маршрутизации (router 4)

Адрес сети назначения	Адрес следующего маршрутизатора	Адрес выходного порта	Расстояние до сети назначения
N1	IP ₁₂ (R1)	IP ₄₁	1
N2	-	IP ₄₁	0(подсоединена)
N3	IP ₁₂ (R1)	IP ₄₁	1
N4	IP ₂₁ (R2)	IP ₄₁	1
N5	-	IP ₄₂	0(подсоединена)
N6	IP ₂₁ (R2)	IP ₂₁	2
IP _B	IP ₂₁ (R2)	IP ₄₁	2
default	IP ₅₁ (R5)	IP ₄₂	-

Заголовок дейтаграммы IPv4

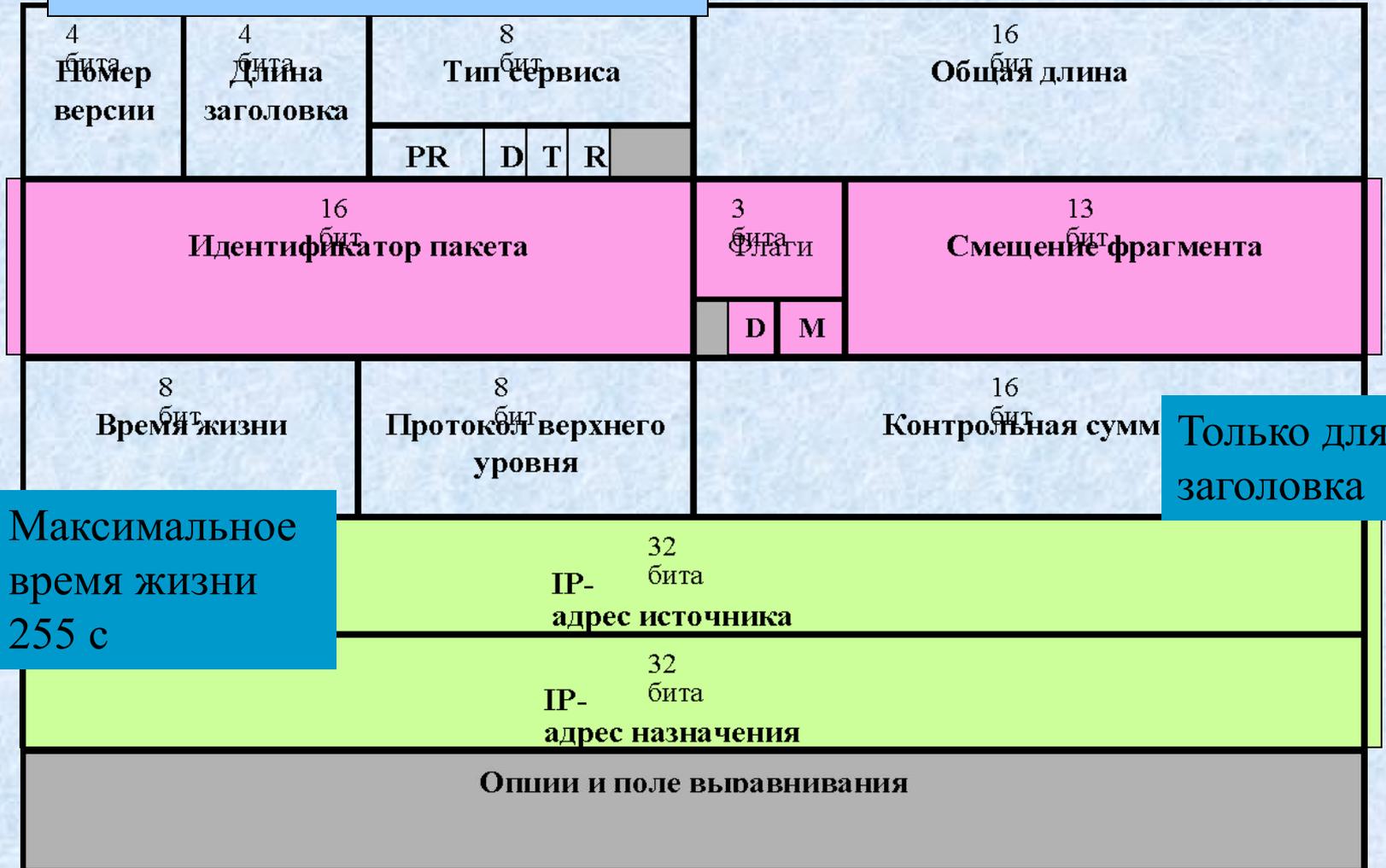


Общая длина заголовка без опций составляет 20 байт

Структура заголовка IP

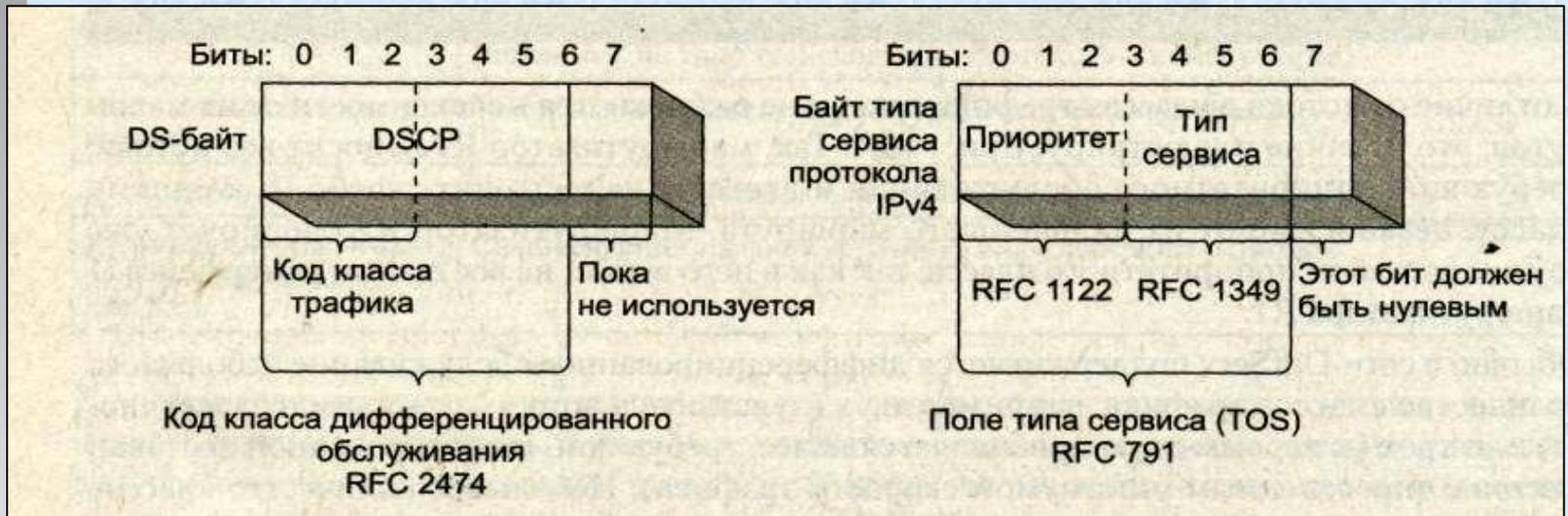
Максимальная длина
IP-пакета
65535 байтов

Длина заголовка **20**
(с опциями 60)
байтов.

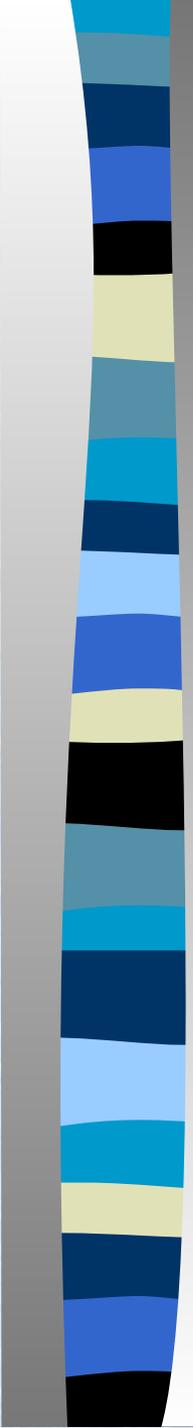


Соответствие битов DS-байта битам поля типа сервиса

- **Класс трафика** – совокупность поступающих на обработку пакетов, обладающими общими признаками.



Пример пакета IP



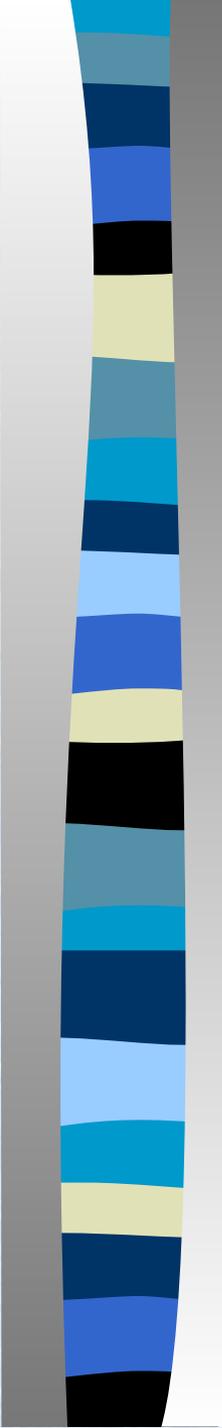
```
IP: Version = 4 (0x4)
IP: Header Length = 20 (0x14)
IP: Service Type = 0 (0x0)
  IP: Precedence = Routine
  IP: ...0.... = Normal Delay
  IP: ....0... = Normal Throughput
  IP: .....0.. = Normal Reliability
IP: Total Length = 54 (0x36)
IP: Identification = 31746 (0x7C02)
IP: Flags Summary = 2 (0x2)
  IP: .....0 = Last fragment in datagram
  IP: .....1. = Cannot fragment datagram
IP: Fragment Offset = 0 (0x0) bytes
IP: Time to Live = 128 (0x80)
IP: Protocol = TCP - Transmission Control
IP: Checksum = 0xEB86
IP: Source Address = 194.85.135.75
IP: Destination Address = 194.85.135.66
IP: Data: Number of data bytes remaining = 34
(0x0022)
```

Таблица маршрутизации аппаратного маршрутизатора NetBuilder II компании 3Com

NetBuilder# Show — IP AllRoutes						
Total Routes = 5			Total Direct Networks = 2			
Destination	Mask	Gateway	Metric	Status	TTL	Source
198.21.17.0	255.255.255.0	198.21.17.5	0	Up	—	Connected
213.34.12.0	255.255.255.0	213.34.12.3	0	Up	—	Connected
56.0.0.0	255.0.0.0	213.34.12.4	14	Up	—	Static
116.0.0.0	255.0.0.0	213.34.12.4	12	Up	—	Static
129.13.0.0	255.255.0.0	198.21.17.6	1	Up	160	RIP

Таблица маршрутизации Unix-маршрутизатора

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.0	127.0.0.1	UH	1	154	lo0
Default	198.21.17.7	UG	5	43270	le0
198.21.17.0	198.21.17.5	U	35	246876	le0
213.34.12.0	213.34.12.3	U	44	132435	le1
129.13.0.0	198.21.1.7.6	UG	6	16450	le0
56.0.0.0	213.34.12.4	UG	12	5764	le1
116.0.0.0	213.34.12.4	UG	21	23544	le1



Источники и типы записей в таблице маршрутизации

1. программное обеспечение стека ТСР/Р

- записи о непосредственно подключенных сетях и маршрутизаторах по умолчанию
- записи об адресах особого назначения

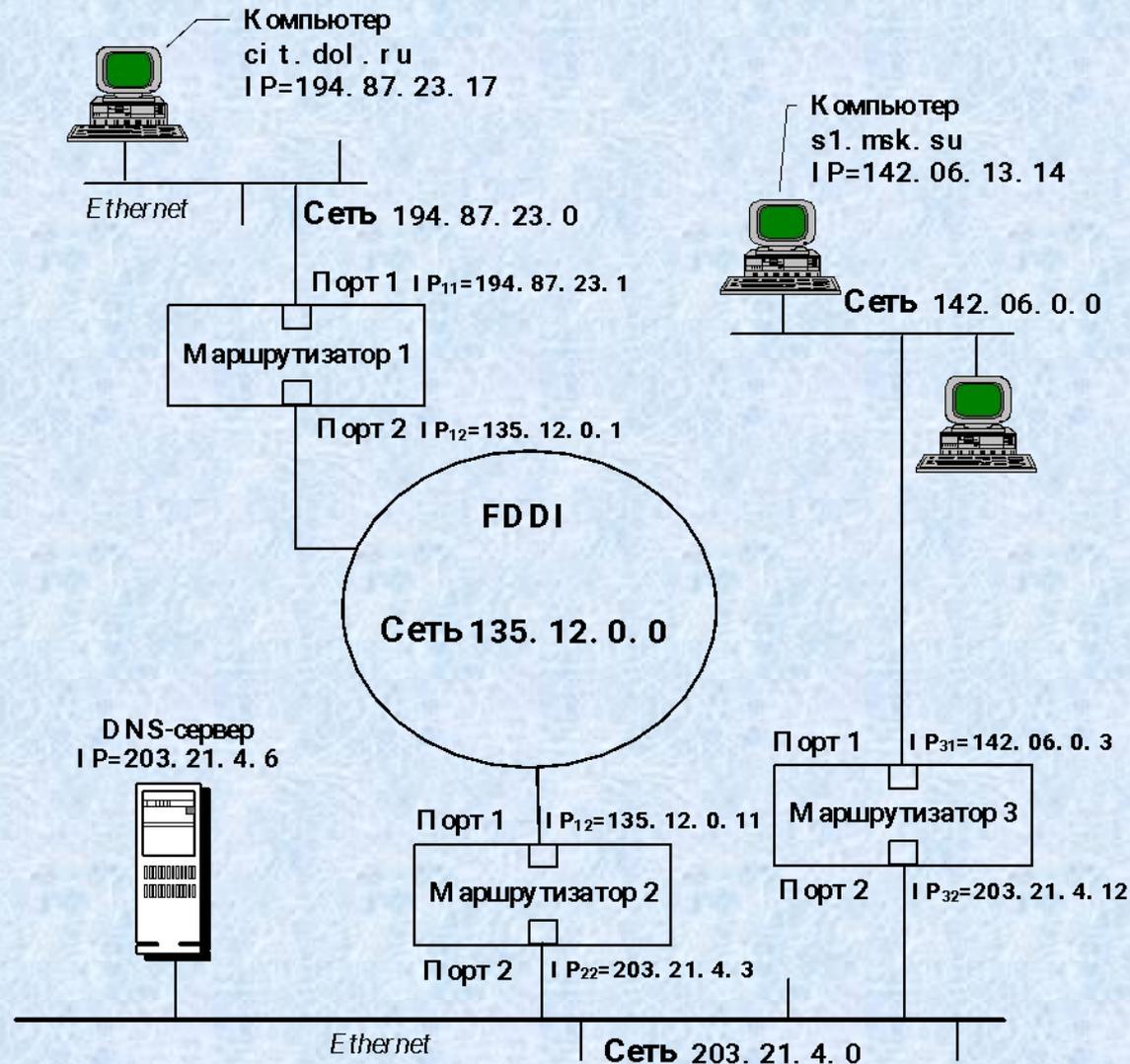
2. администратор

статические записи с помощью системной утилиты

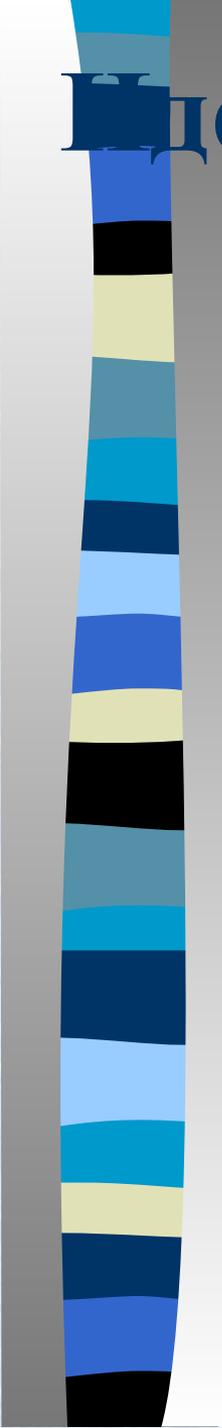
3. протоколы маршрутизации

динамические записи с ограниченным сроком жизни

Пример взаимодействия компьютеров через интернет



Идентификация протокола

- 
- . Наиболее часто используются следующие коды:
 - • 0 IP
 - • 1 ICMP
 - • 6 TCP
 - • 8 Exterior Gateway Protocol (EGP)
 - • 17 UDP

Алгоритм взаимодействия

1. Пользователь компьютера **cit.dol.ru**

> ftp s1.msk.su **набирает команду**

2. Пусть компьютер **cit.dol.ru**

строка **имеет файл HOSTS, а в нем есть**

142.06.13.14 s1.msk.su.

3. Протокол IP компьютера **cit.dol.ru** проверяет, нужно ли маршрутизировать пакеты для адреса 142.06.13.14

4. Компьютер **cit.dol.ru** формирует кадр Ethernet для отправки IP-пакета маршрутизатору по умолчанию с IP-адресом 194.87.23.1. Для этого он определяет MAC-адрес порта маршрутизатора, подключенного к его сети - MAC₁₁. В результате компьютер **cit.dol.ru** **яет по локальной сети кадр Ethernet:**

отправл Адрес Ethernet	...	IP-
MAC ₁₁		адрес назначения 142.06.13.14		

5. Кадр принимается портом 1 маршрутизатора 1. Протокол IP извлекает из пакета адрес назначения. Пусть маршрутизатор 1 имеет в своей таблице маршрутизации запись

142.06.0.0 135.12.0.11 2 1,

6. Маршрутизатор 1 определяет, что порт 2 подключен к сети FDDI - фрагментация не требуется. MAC адрес маршрутизатора 21-0-

Адрес FDDI	...	IP-адрес назначения
MAC ₂₁		142.06.13.14		

7. Аналогично действует маршрутизатор 2, формируя кадр Ethernet для передачи пакета маршрутизатору 3 по сети Ethernet адресом 203.21.4.0:

Адрес Ethernet	...	IP-адрес назначения
MAC ₃₂		142.06.13.14		

8. Маршрутизатор 3 видит, что пакет нужно передать в сеть 142.06.0.0, которая непосредственно подключена к его первому порту. Поэтому он высылает кадр с адресом сети Ethernet с IP-адресом компьютера s1.msk.su

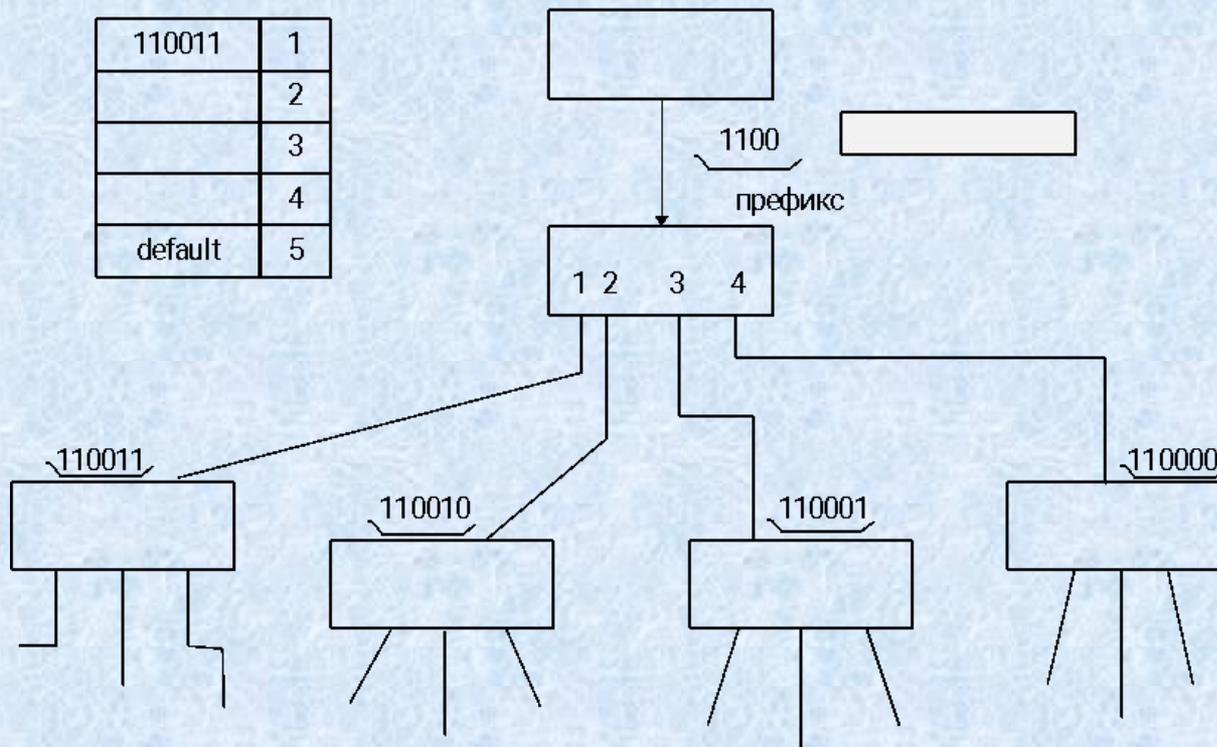
Адрес Ethernet	...	IP-адрес назначения
MAC _{s1}		142.06.13.14		

Маршрутизация с использованием технологии CIDR

- Все адреса сетей каждого провайдера имеют общий префикс
- Маршрутизация на магистральных Internet В-
лется на основе префиксов может осущест
- Деление IP-адреса на номер сети и номер узла осуществляется на основе маски переменной длины, назначаемой провайдером
- Технология CIDR уже используется в IPv4 и поддерживается протоколами OSPF, RIP-2, BGP4;
- Проблема перенумерации сетей
 - ♦ материальные и временные затраты
 - ♦ зависимость от провайдера

CIDR позволяет решить две основные задачи

- Более экономное расходование адресного пространства
- Уменьшение числа записей в таблицах маршрутизаторов, за счет объединения маршрутов



Фрагментация IP-пакетов

- **фрагментация сообщений в узле-отправителе (ТСР) –**
из-за несоответствия максимальных размеров единиц данных в протоколах стека
- **динамическая фрагментация сообщений в маршрутизаторах (IP) –**
из-за различий в значениях MTU

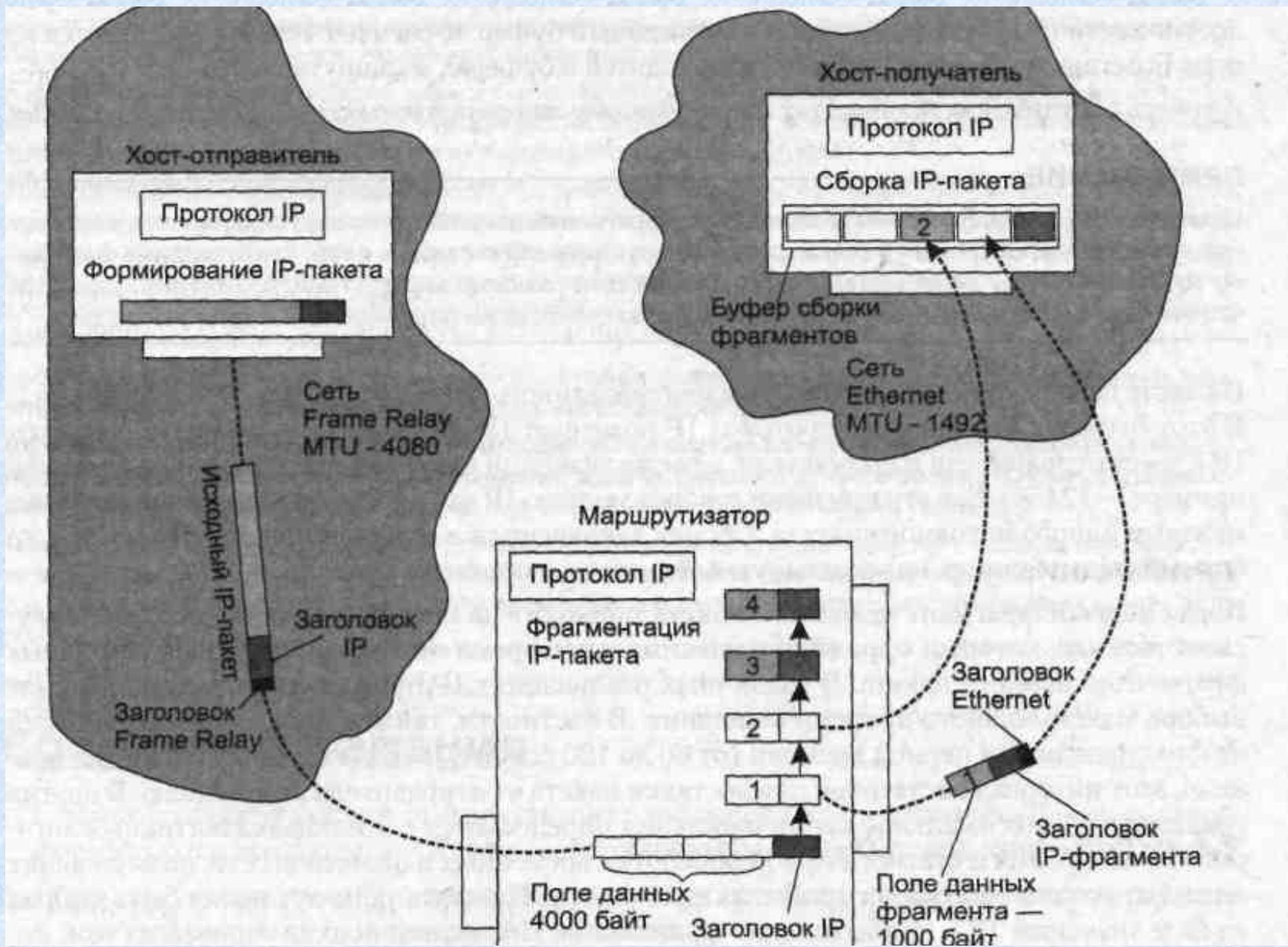
Значения MTU

Ethernet	1500 байт
FDDI	4352 байт
X.25	576 байт
ATM	48 байт
Token Ring	17914 байт

Параметры фрагментации

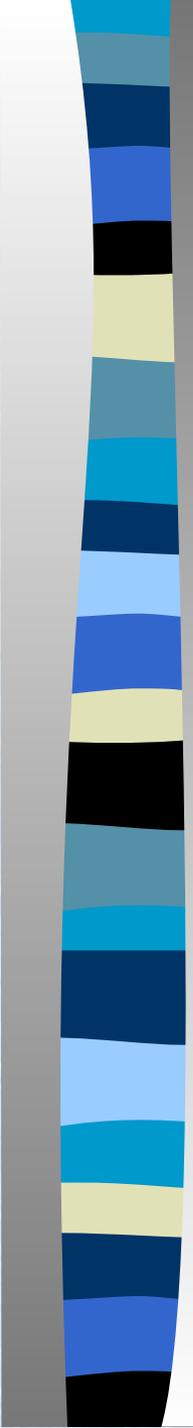
- **Идентификатор пакета (*Identification*)**.
пакета должны иметь одинаковое идентификаторы. Все фрагменты одного пакета должны иметь одинаковое значение идентификатора.
- **Признак разрешения фрагментации $DF=1$ (*Do not Fragment*)**
- **Признак промежуточного фрагмента $MF=1$ (*More Fragments*)**
- **Смещение фрагмента (*Fragment Offset*)**
данных исходного пакета; должно быть кратное 8 байтам. От начала общего поля.
- **Время жизни (*Time to Live*)**

Механизм фрагментации



Тема 6. Протокол управляющих сообщений ICMP

- Формат сообщений ICMP
- Эхо-протокол
- Утилиты ping и tracert



Протокол обмена управляющими сообщениями

ICMP (Internet Control Message Protocol)

RFC 792

1. Используется маршрутизатором для оповещения конечного узла об ошибках, возникших при передаче IP-пакета от данного узла
2. Используется для выполнения запросов относительно времени, значения маски и др.

Инкапсуляция сообщения ICMP

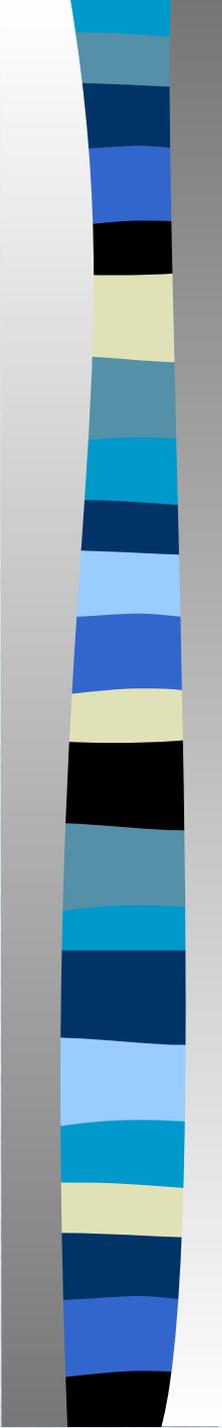


Формат заголовка ICMP

Протокол ICMP - это семейство протоколов, каждый из которых решает свои узкие задачи и имеет свой формат сообщения

Возможные значения поля TYPE

	Тип сообщения	
0	Эхо-ответ (Echo Replay)	
3	Узел назначения недоступен (Destination Unreachable)	
4	Подавление источника (Source Quench)	
5	Перенаправление маршрута (Redirect)	
8	Эхо-запрос (Echo Request)	
11	Истечение времени дейтаграммы (Time Exceeded for a Datagram)	
12	Проблема с параметром (Parameter Problem on a Datagram)	
13	Запрос отметки времени (Timestamp Request)	
14	Ответ отметки времени (Timestamp Replay)	
17	Запрос маски (Address Mask Request)	
18	Ответ маски (Address Mask Replay)	



Эхо-протокол

- ◆ Тест достижимости узлов сети
- ◆ Обмен двумя типами сообщений:
 - *эхо-запрос*
 - *эхо-ответ*
- ◆ Утилита *ping* предоставляет пользователю статистику об обмене эхо-ответами и среднем времени реакции сети на запросы

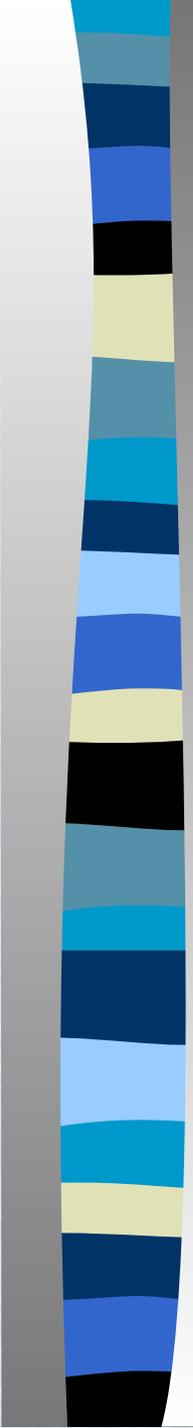
Сообщения о недоступности узла назначения

Type 3

Code	Причина
0	Сеть недоступима
1	Узел недоступим
2	Протокол недоступим
3	Порт недоступим
4	Требуется фрагментация, а бит DF установлен
5	Ошибка в маршруте, заданном источником
6	Сеть назначения неизвестна
7	Узел назначения неизвестен
8	Узел-источник изолирован
9	Взаимодействие с сетью назначения административно запрещено
10	Взаимодействие с узлом назначения административно запрещено
11	Сеть недоступима для заданного класса сервиса
12	Узел недоступим для заданного класса сервиса

ICMP-сообщения об ошибках:

- не **корректируют** ошибок
- не могут направляться промежуточному маршрутизатору
- могут теряться
- нельзя посылать ICMP-сообщения об ICMP-сообщениях об ошибках, но для ICMP-сообщений-запросов - можно
- ICMP сообщения можно посылать только о проблемах, возникающих при обработке первого фрагмента в сегментированном IP-пакете



Узел или сеть назначения могут быть недостижимы:

- из-за временной неработоспособности аппаратуры
- из-за того, что отправитель указал неверный адрес назначения
- маршрутизатор не имеет данных о маршруте к сети назначения
- отсутствие протокола прикладного уровня в узле назначения
- отсутствие открытого порта UDP или TCP в узле назначения

Утилита ping

- Посылает серию эхо - запросов к тестируемому узлу и предоставляет статистику об утерянных эхо - ответах и среднее время реакции сети на запросы.
- Указывается оставшееся время жизни поступивших пакетов.

Утилита ping

```
# ping server1.citmgu.ru
```

```
Pinging server1.citmgu.ru [131.107.2.200] with 64 bytes  
of data:
```

```
Reply from 131.107.2.200: bytes=64 time=256ms TTL= 123
```

```
Reply from 131.107.2.200: bytes=64 time=310ms TTL= 123
```

```
Reply from 131.107.2.200: bytes=64 time=260ms TTL= 123
```

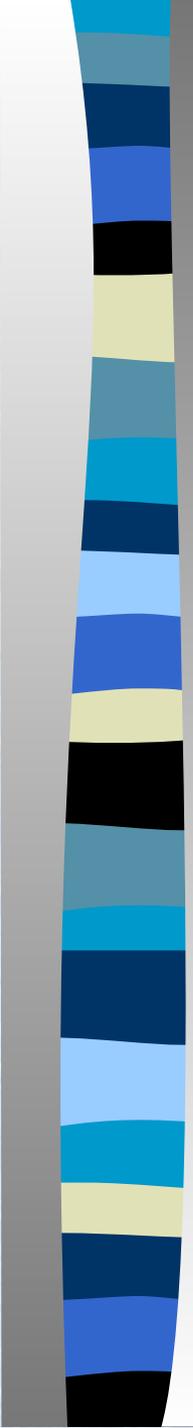
```
Reply from 131.107.2.200: bytes=64 time=146ms TTL= 123
```

С помощью ключей можно задавать

- ◆ размер поля данных сообщения
- ◆ начальное значение поля TTL
- ◆ количество повторов передачи пакетов
- ◆ установку флага Don't Fragment

Сообщения об ошибках утилиты ping

- *No answer* -
сети существует. Возможно, хотя маршрут к указанной сети существует, но ответы идут слишком долго из-за перегрузки сети
- *Unknown host* -
удаленного хоста в IP-адресе. Возможные причины: служба DNS не работает, сервер DNS, указанный в конфигурационных параметрах стека, сервер DNS недоступен, неправильно задано имя хоста назначения. Необходимо попробовать выполнить **ping** хоста, если адрес известен по IP-адресу
- *Network unreachable* -
недоступен маршрут к указанной сети



Утилита Tracert (Windows)

- Позволяет проследить маршрут до определенного хоста
- Определить среднее время оборота (RTT)
- IP – адрес (доменное имя) каждого промежуточного маршрутизатора
- Первое число – количество хопов до соответствующего маршрутизатора.
- Значение TTL 1-го пакета =1. Маршрутизатор отбрасывает пакет и возвращает ICMP - сообщение об ошибке: утилита запоминает адрес 1-го маршрутизатора.
- TTL 2-го пакета = 2. Утилита запоминает адрес 2- го маршрутизатора. И так до узла назначения.
- Утилита тестирует каждый маршрутизатор трижды.
- Если ответ от маршрутизатора не приходит за заданное время, на экране печатается звездочка(*)).

Утилита traceroute

Трассировка маршрута к ds.internic.net [198.49.45.29]

1	311 мс	290 мс	261 мс	144.206.192.100
2	281 мс	300 мс	271 мс	194.85.73.5
3	2023 мс	290 мс	311 мс	moscow-m9-2-S5.relcom.eu.net [193.124.254.37]
4	290 мс	261 мс	280 мс	MSK-M9-13.Relcom.EU.net [193.125.15.13]
5	270 мс	281 мс	290 мс	MSK.RAIL-1-ATM0-155Mb.Relcom.EU.net [193.124.254.82]
6	300 мс	311 мс	290 мс	SPB-RASCOM-1-E3-1-34Mb.Relcom.EU.net [193.124.254.78]
7	311 мс	300 мс	300 мс	Hssi11-0.GW1.STK2.ALTER.NET [146.188.33.125]
8	311 мс	330 мс	291 мс	421.ATM6-0-0.CR2.STK2.Alter.Net [146.188.5.73]
9	360 мс	331 мс	330 мс	219.Hssi4-0.CR2.LND1.Alter.Net [146.188.2.213]
10	351 мс	330 мс	331 мс	412.Atm5-0.BR1.LND1.Alter.net [146.188.3.205]
11	420 мс	461 мс	420 мс	167.ATM8-0-0.CR1.ATL1.Alter.Net [137.39.69.182]
12	461 мс	441 мс	440 мс	311.ATM12-0-0.BR1.ATL1.Alter.Net [137.39.21.73]
13	451 мс	410 мс	431 мс	atlanta1-br1.bbnplanet.net [4.0.2.141]
14	420 мс	411 мс	410 мс	vienna1-br2.bbnplanet.net [4.0.3.154]
15	411 мс	430 мс	2514 мс	vienna1-nbr3.bbnplanet.net [4.0.3.150]
16	430 мс	421 мс	441 мс	vienna1-nbr2.bbnplanet.net [4.0.5.45]
17	431 мс	451 мс	420 мс	cambridge1-br1.bbnplanet.net [4.0.5.42]
18	450 мс	461 мс	441 мс	cambridge1-cr14.bbnplanet.net [4.0.3.94]
19	451 мс	461 мс	460 мс	attbcstoll.bbnplanet.net [206.34.99.38]
20	501 мс	460 мс	481 мс	shutdown.ds.internic.net [198.49.45.29]

Трассировка завершена

Тема 7. IPv6

- Причины модернизации
- Расширенное адресное пространство
- Гибкий формат заголовка
- Снижение нагрузки на маршрутизаторы
- Переход с IPv4 на IPv6

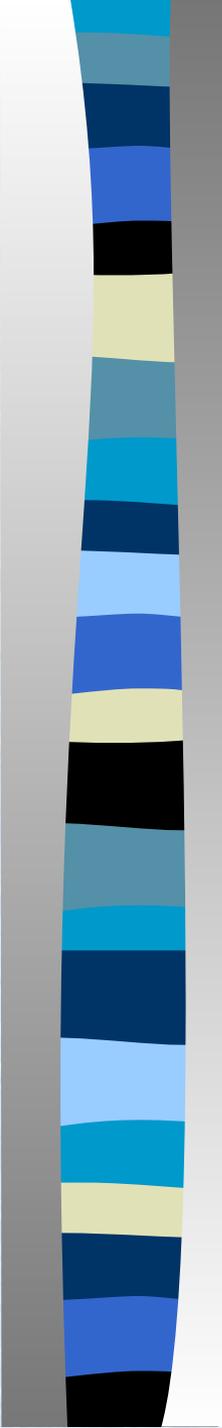
Причины модернизации -

Internet: переход к промышленному использованию

- ♦ построение корпоративных сетей с использованием транспортных средств Internet (виртуальные частные сети)
- ♦ применение Web-технологий для получения доступа к корпоративной информации
- ♦ ведение электронной коммерции с помощью Internet
- ♦ внедрение Internet в индустрию развлечений (распространение видеофильмов, звукозаписей, интерактивные игры) И-

В результате:

- *быстрый рост сети*
 - ♦ дефицит IP-адресов,
 - ♦ перегрузка маршрутизаторов
 - ♦ резкое увеличение суммарного объема трафика
- *изменение характера трафика: мультимедийные данные*
- *ужесточение требований к качеству обслуживания*
 - ♦ предоставления гарантированной полосы пропускания с заданным уровнем задержки передаваемых пакетов
 - ♦ предоставление услуг по защите данных
 - ♦ возможность автоконфигурирования стека TCP/IP



Главные цели модификации транспортных протоколов Internet:

- создание масштабируемой схемы адресации
- повышение масштабируемости средств маршрутизации
- повышение пропускной способности сети
- гарантии качества транспортных услуг - средней интенсивности трафика, величины задержек и т.п.
- разработка средств обеспечения секретности

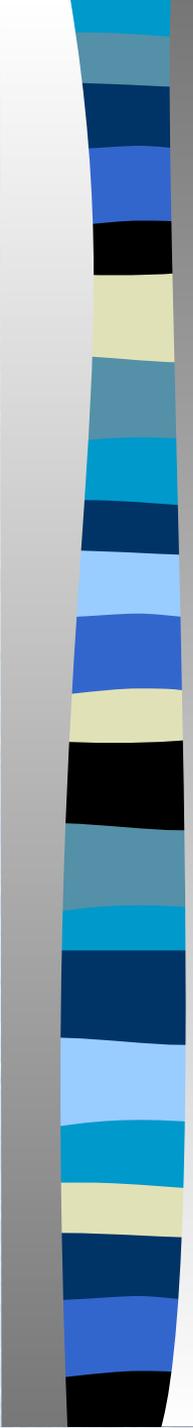
Расширенное адресное пространство

- **Увеличение разрядности поля адреса. Адрес IPv6 состоит из 128 бит или 16 байт**

340 282 366 920 938 463 463 374 607 431 762 211 456.

На каждого жителя Земли - $5,7 \cdot 10^{28}$
адресов

- **Введение новых полей: вместо 2 уровней иерархии адреса - 4 уровня**
- **Поддержка технологии агрегирования адресов (CIDR)**
- **Усовершенствованная система групповой адресации**
- **Введение нового типа адресов anycast**



Новая форма записи адреса

FEDC:0A98:0:0:0:0:7654:3210.

FEDC:0A98::7654:3210.

FEDC:A98::7654:3210.

0:0:0:0:0:FFFF:129.144.52.38

::FFFF:129.144.52.38.

Типы адресов

Unicast -

индивидуальный адрес узла

010	Идентификатор сети провайдеров	Идентификатор провайдера	Идентификатор абонента	Идентификатор подсети	Идентификатор узла
-----	--------------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------------	-----------------------

- Global - **Internet**
- **Unicast** - тип адресов, используемых в **Internet** в сетях, не подключенных к **Internet**
- **Compatible** - обеспечивают совместимость с адресами IPv4, IPv6, NSAP

IPv4-compatible-

12

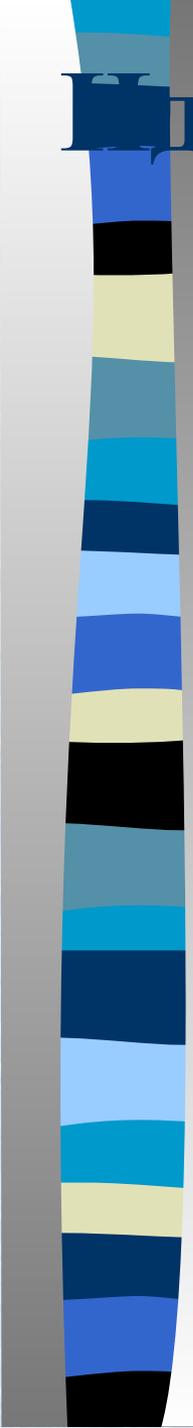
байт - нули

Multicast (one-to-many) - адрес набора узлов, каждому из которых необходимо доставить сообщение; используются и для реализации широковещательного адреса

Anycast (one-to-nearest) - адрес набора узлов, одному из которых необходимо доставить сообщение

используется при маршрутизации от источника (Source Routing)
синтаксически не отличим от адреса unicast

Идентификация протокола

- 
- . Наиболее часто используются следующие коды:
 - • 0 IP
 - • 1 ICMP
 - • 6 TCP
 - • 8 Exterior Gateway Protocol (EGP)
 - • 17 UDP

Глобальный агрегируемый адрес

3	13	8	24	16	64
Префикс формата (FP)	Агрегирование верхнего уровня (TLA)		Агрегирование следующего уровня (NLA)	Агрегирование местного уровня (SLA)	Идентификатор интерфейса (Interface ID)

Префикс формата - 001

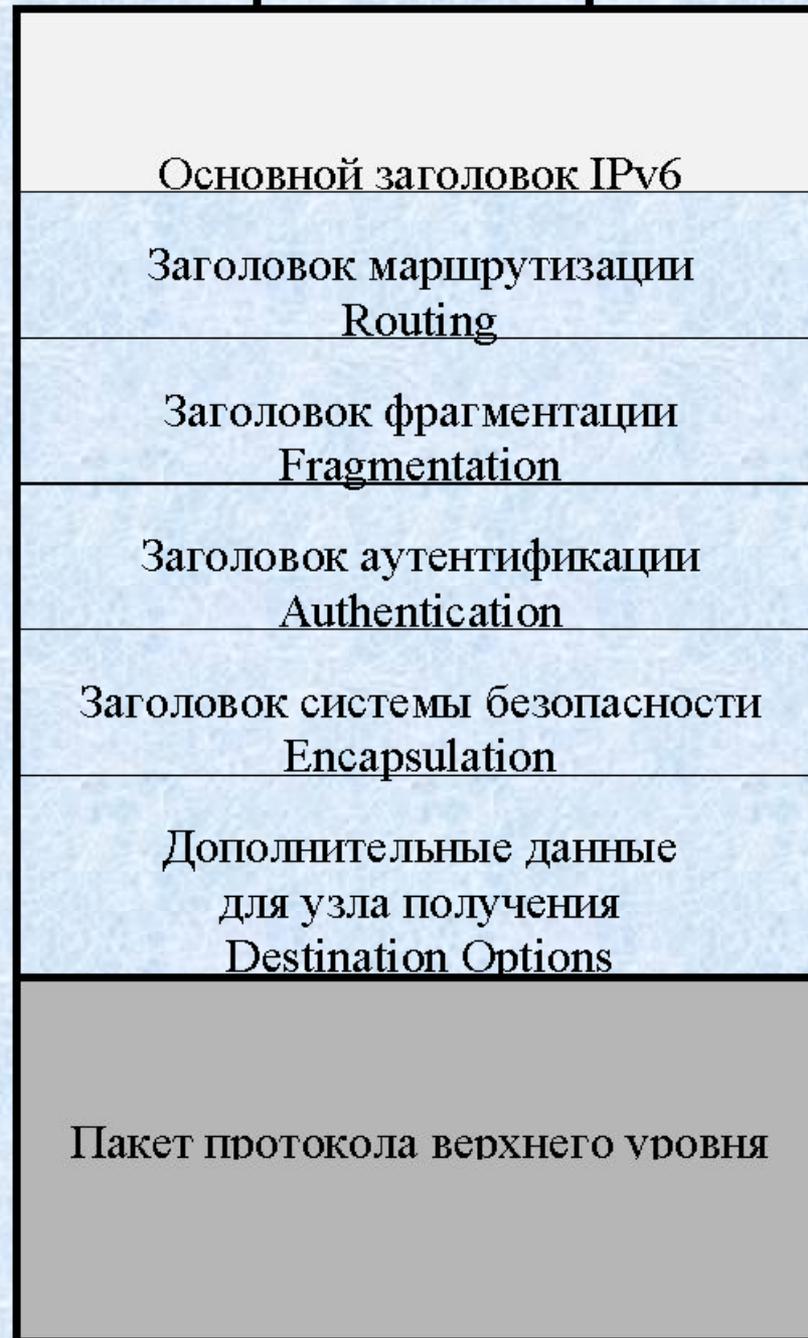
Префиксы уровней агрегирования:

- Top-Level Aggregation, TLA – идентифицирует самых крупных провайдеров
- Next-Level Aggregation, NLA – идентифицирует сети более мелких провайдеров
- Site-Level Aggregation, SLA – идентифицирует сети отдельных абонентов

Идентификатор интерфейса (Interface ID) –

- совпадает с локальным адресом
- операция разделения сети на подсети не используется, так как в этом нет необходимости

Формат пакета IPv6



Формат основного заголовка IPv6



Описание заголовков IPv6

- **Поле следующего заголовка** соответствует по назначению полю протокола в версии IPv4 и определяет тип заголовка, который следует за данным. Каждый следующий дополнительный заголовок также содержит поле следующего заголовка. Если IP-пакет не содержит дополнительных заголовков, то в этом поле будет значение, закрепленное за протоколом TCP, UDP, RIP, OSPF или др., определенным в стандарте IPv4.
- В предложениях по поводу протокола IPv6 фигурируют следующие типы дополнительных заголовков:
 - - **заголовок маршрутизации** — указание полного маршрута при маршрутизации от источника;
 - - **заголовок фрагментации** — информация, относящаяся к фрагментации IP-пакета (поле обрабатывается только в конечных узлах);
 - - **заголовок аутентификации** — информация, необходимая для аутентификации конечных узлов и обеспечения целостности содержимого IP-пакетов;
 - - **заголовок системы безопасности** — информация, необходимая для обеспечения конфиденциальности передаваемых данных путем шифрования и дешифрования;
 - - **специальные параметры** — параметры, необходимые для последовательной обработки пакетов на каждом ретрансляционном участке;
 - **параметры получателя** — дополнительная информация для узла назначения.

Снижение нагрузки на маршрутизаторы в IPv6

- Перенесение функций фрагментации с маршрутизаторов на конечные узлы
- Агрегирование адресов
 - уменьшение размера адресных таблиц маршрутизаторов
 - сокращение времени просмотра
 - снижение служебного трафика, создаваемого маршрутизации. протоколами
- Широкое использование маршрутизации от источника (Source Routing)
- Отказ от обработки опциональных параметров заголовка
- Использование в качестве номера узла его MAC-адреса

Переход на версию IPv6

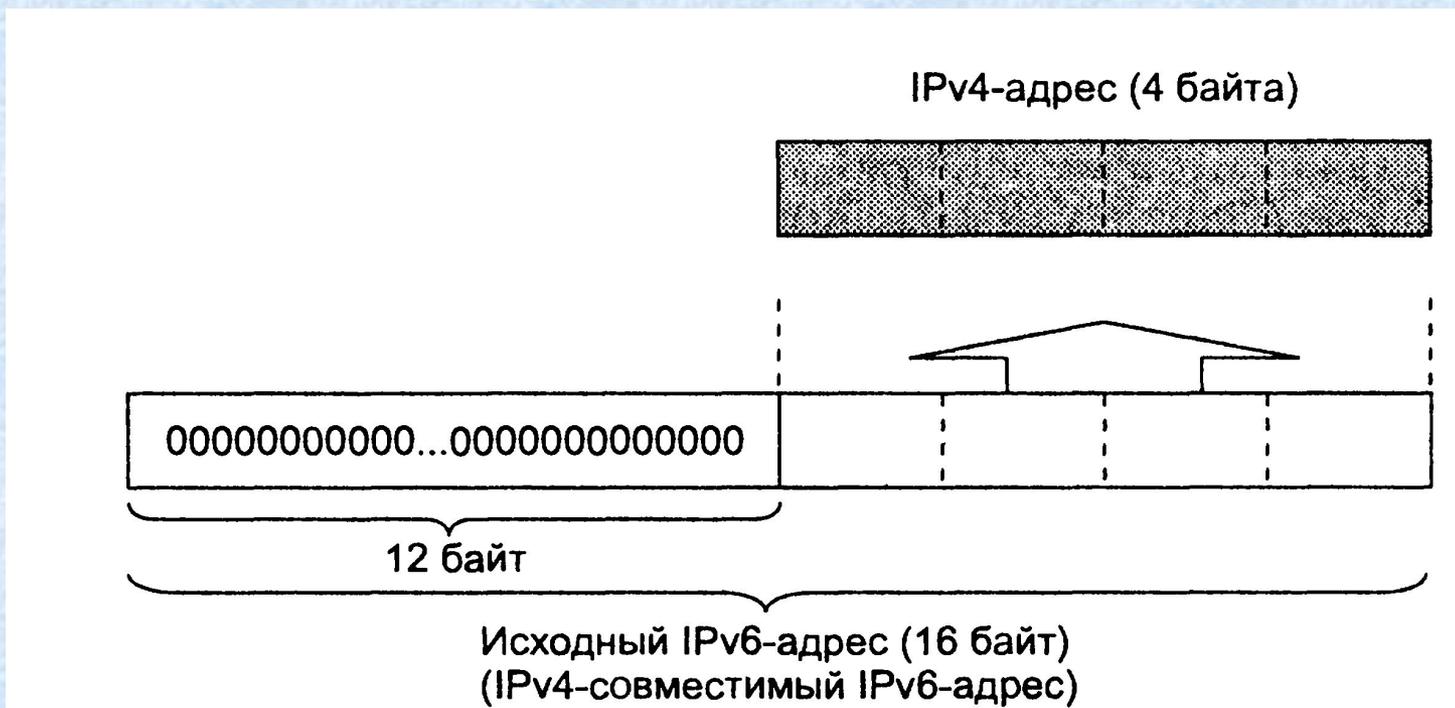
Существует несколько подходов к организации взаимодействия узлов, использующих разные стеки TCP/IP.

Трансляция протоколов. Трансляция протоколов реализуется шлюзами, которые устанавливаются на границах сетей, использующих разные версии протокола IP.

Мультиплексирование стеков протоколов. Означает установку на взаимодействующих хостах сети обеих версий протокола IP. Обе версии протокола должны быть развернуты также на разделяющих эти хосты маршрутизаторах.

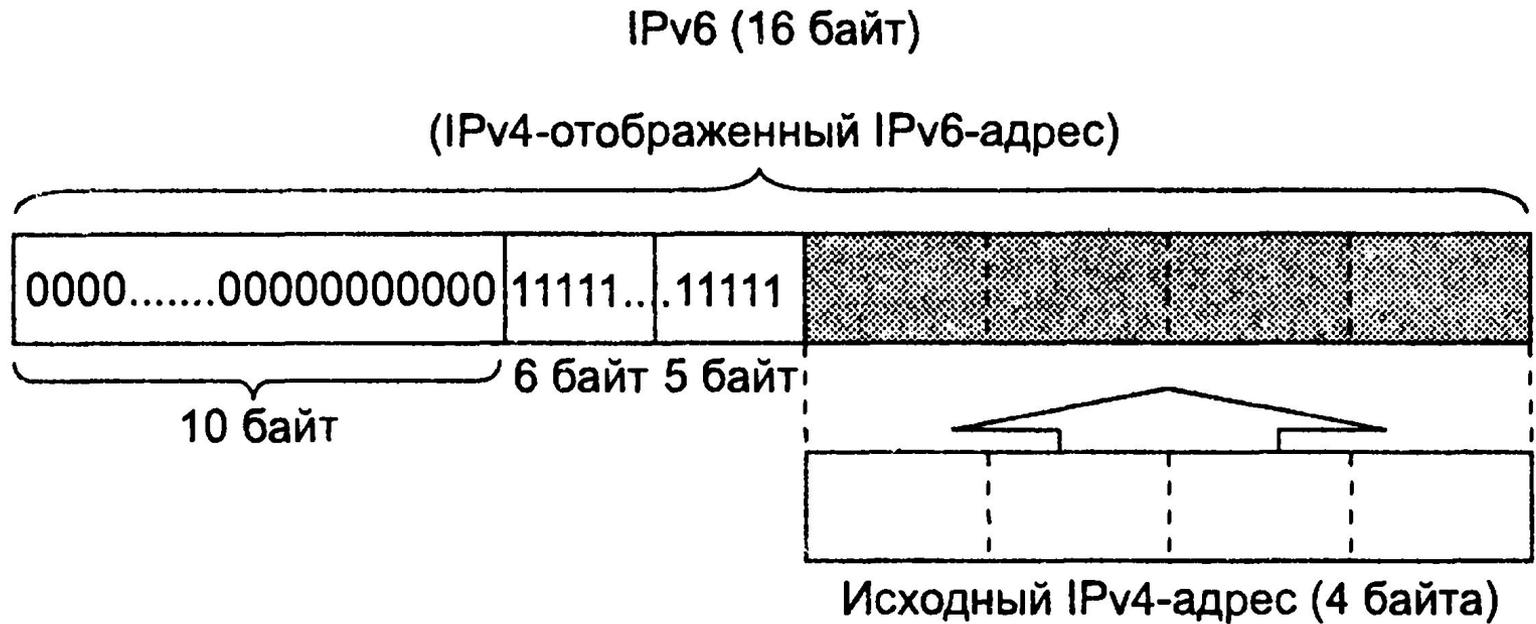
Инкапсуляция или Туннелирование. Она может быть применена, когда сети одной версии протокола, например, IPv4, необходимо соединить через транзитную сеть, работающую по другой версии, например, IPv6. При этом пакеты версии IPv4 помещаются в пограничных устройствах в пакеты IPv6 и переносятся через туннель, проложенной в IPv6 – сети. Такой способ имеет недостаток: узлы IPv4- сетей не имеют возможности взаимодействовать с узлами транзитной IPv6 – сети.

IPv4 совместимые IPv6 адреса



Такие адреса присваиваются узлам сети, осуществляющим туннелирование IPv6-трафика через инфраструктуру IPv4; представляются, как 96 нулевых бит и адрес IPv4 в младших 32-х битах.

Адреса IPv4, отображенные на IPv6



Такие адреса присваиваются узлам,
поддерживающим только IPv4 .

