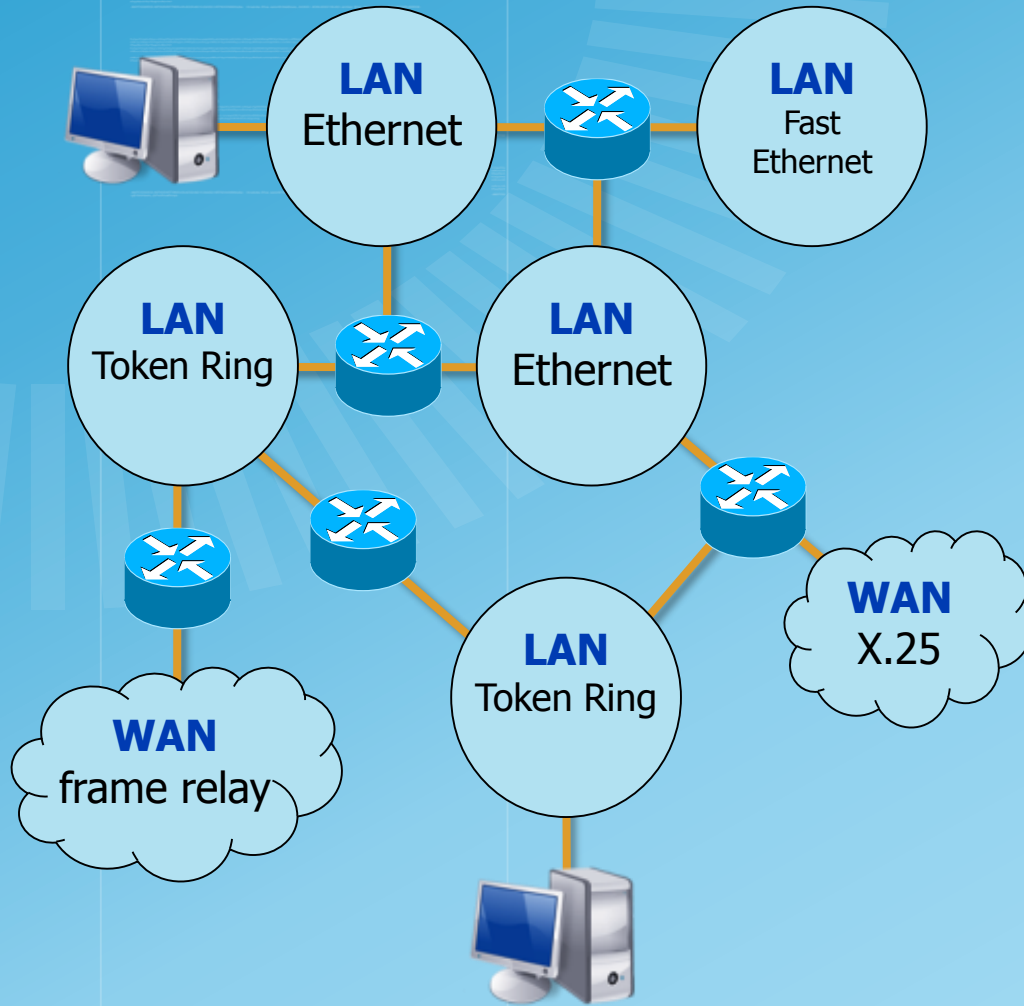


Сетевой уровень OSI IP-адресация

Ограничения сетей на коммутаторах

- ❑ Ограничение альтернативных связей
- ❑ Слабая (или полная) изолированность отдельных участков сети
- ❑ Невозможность фильтрации трафика (кроме полного запрета по MAC-адресу)
- ❑ Негибкая одноуровневая система MAC-адресации, проблемы с broadcast'ами
- ❑ Несовместимость различных протоколов канального уровня (MTU)

Составные сети



- **Составная сеть** (интерсеть, internetwork) – совокупность локальных и глобальных сетей, называемых подсетями, составляющими сетями или просто сетями
- Для соединения подсетей используются сетевые устройства сетевого уровня – **маршрутизаторы** (router)

Сетевой уровень

Network Layer

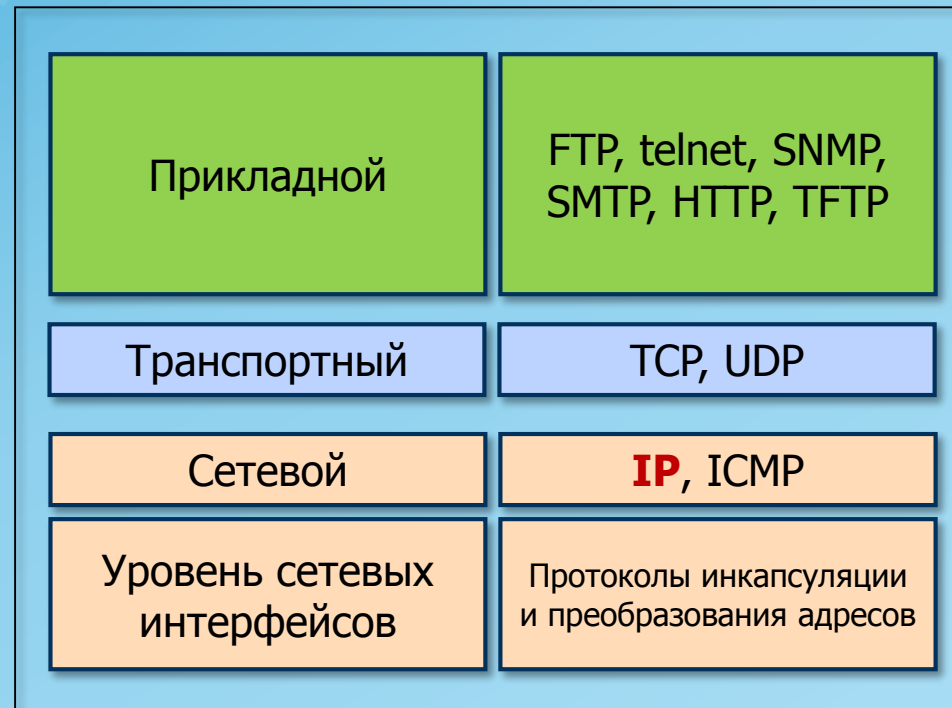
- Сетевой уровень предоставляет функции для передачи отдельных компонентов данных по сети между указанными конечными устройствами
- Служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, в т.ч. использующих различные протоколы нижних уровней, межсетевой адресации и маршрутизации пакетов данных.
- Примеры: IP, ICMP
- Единица данных – *пакет (packet)*

Модель OSI и стек TCP/IP

Модель OSI



Стек TCP/IP



Протокол IP (Internet Protocol)

- Маршрутизируемый протокол доставки сообщений между узлами составной сети
- Относится к протоколам «best effort»
 - без установления соединения
 - не даёт гарантии надёжной доставки пакета
- Способен выполнять динамическую фрагментацию дейтаграмм при их передаче между сетями с различными максимально допустимыми значениями длины поля данных кадра (MTU)
- IP-пакет состоит из заголовка (от 20 до 60 байт) и поля данных (до 65515 байт) – суммарно до 65 535 байт

Формат IP(v4)-пакета (1)

	биты 0-3	3-7	8-13	14-15	16-18	19-31	
0	Version (IPv4 или IPv6)	IP Header Length [4×Байт]	DSCP (Diffserv Code point) – тип сервиса по QoS	ECN (QoS)	Total length – общая длина пакета, до 65535 [Байт]		
32	Identification – идентификатор фрагментированного пакета (для сборки)				Flags		Fragment offset – смещение текущего фрагмента от начала [8×Байт]
					0	D	
64	Time to Live (TTL) – время жизни пакета		Protocol (номер вышестоящего протокола по IANA)		Header checksum – контрольная сумма по заголовку		
96	Source IP-address – IP адрес источника						
128	Destination IP-address – IP адрес назначения						
160	Options (только если IHL>5) – дополнительные параметры (тестирование и отладка сети)						
160 (192+)	DATA – данные верхнего уровня						

Фрагментация IP-пакетов

- **Фрагментация** – деление поля данных исходного пакета (т.е. инкапсулированной дейтаграммы) на части и оформление их в виде пакетов меньшего размера – фрагментов
- Фрагментация выполняется при невозможности передать пакет в следующую по маршруту сеть (превышение MTU)
- Сбор исходного пакета осуществляется модулем IP на узле назначения (и никогда на промежуточных маршрутизаторах)
- Сборка пакета осуществляется по значениям IP-полей: идентификатор, TTL, флагов DF и MF, смещения

Значения MTU

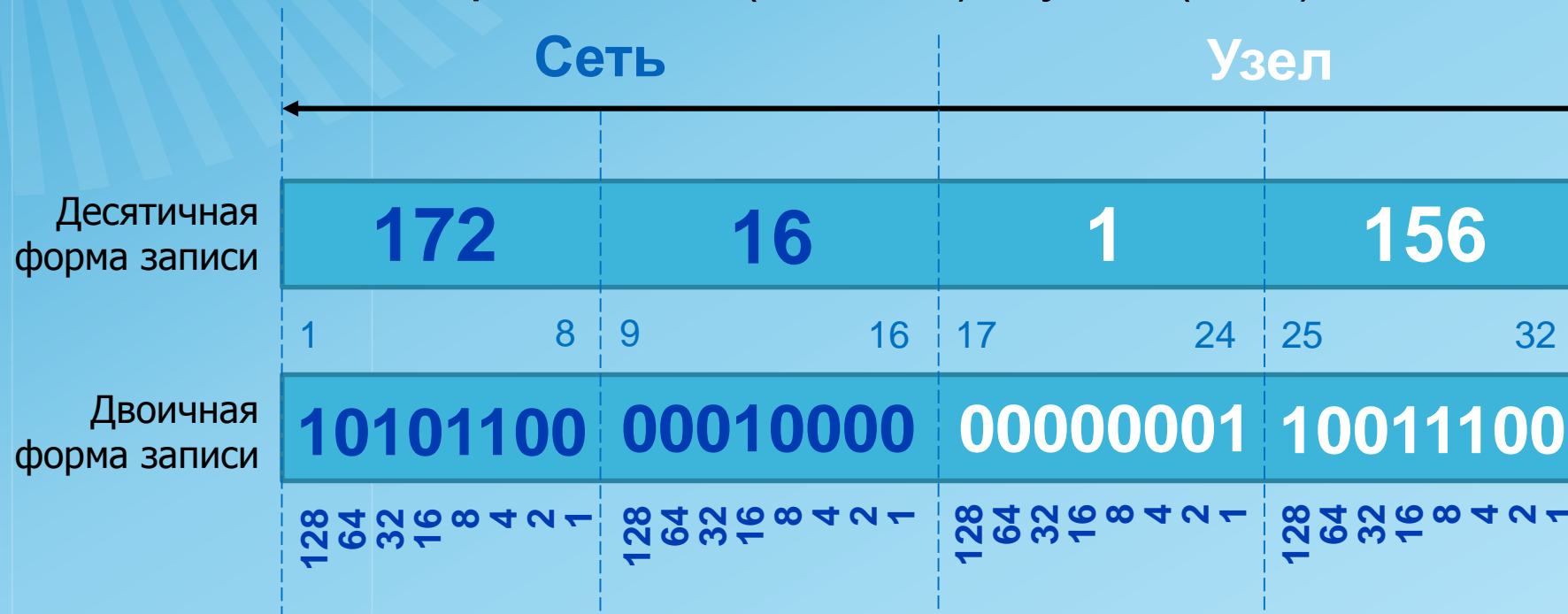
Технология	MTU, байт
DIX Ethernet (II)	1500
Ethernet 802.3	1492
Token Ring (IBM, 16 Mbps)	17914
Token Ring (802.5, 4 Mbps)	4464
FDDI	4352
X.25	576

Адресация в ТСР/IP

- Локальные (аппаратные, физические) адреса – адресация узлов в пределах локальной сети (MAC) **00a0.173d.bc01**
- Сетевые (логические, IP) адреса – однозначная идентификация узла в пределах составной сети **192.168.1.1**
- Доменные имена – символьные идентификаторы узлов **www.stankin.ru**

IP(v4) адрес

- ❑ **IP-адрес** – уникальный идентификатор узла в пределах составной TCP/IP-сети
- ❑ Представляет собой 32-битное двоичное число, условно разделяемое на 4 октета (байта)
- ❑ Состоит из адреса сети (network) и узла (host)



IP адрес: сеть и узел

- Деление 32-битного IP-адреса на адрес сети и адрес узла – 2 подхода:
 - 32-битное поле адреса заранее делится на две части фиксированной длины (по классу сети)
 - Произвольное деление (по маске подсети) – бесклассовая адресация
- **Маска подсети** – 32-битное двоичное число, использующееся в паре с IP-адресом и содержащее последовательность единиц в тех разрядах, которые должны в IP-адресе интерпретироваться как адрес сети

Классы IP сетей

	1	8 9	15 16	23 24	32
Class A	0NNNNNNN	NNNNNNNN	NNNNNNNN	NNNNNNNN	0.0.0.0 – 127.255.255.255
Class B	10NNNNNN	NNNNNNNN	NNNNNNNN	NNNNNNNN	128.0.0.0 – 191.255.255.255
Class C	110NNNN	NNNNNNNN	NNNNNNNN	NNNNNNNN	192.0.0.0 – 223.255.255.255
Class D	1110MMMM	Адрес группы multicast			224.0.0.0 – 239.255.255.255
Class E	1111XXXX	Зарезервировано			240.0.0.0 – 255.255.255.255

Пример:

135.168.39.187 – адрес класса **B**
сеть: 135.168.0.0 узел: 0.0.39.187

Маски подсетей

- Маски подсетей обеспечивают произвольное деление IP-адреса на сеть и узел
- Количество «единиц» в маске соответствует длине адреса сети в битах; количество «нулей» – длине адреса узла
- Все «единицы» в маске следуют подряд, начиная со старшего бита

2 ⁷ 128	2 ⁶ 64	2 ⁵ 32	2 ⁴ 16	2 ³ 8	2 ² 4	2 ¹ 2	2 ⁰ 1	Байт маски
1	1	1	1	1	1	1	1	255
1	1	1	1	1	1	1	0	254
1	1	1	1	1	1	0	0	252
1	1	1	1	1	0	0	0	248
1	1	1	1	0	0	0	0	240
1	1	1	0	0	0	0	0	224
1	1	0	0	0	0	0	0	192
1	0	0	0	0	0	0	0	128
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примеры масок:

255.255.0.0
255.192.0.0
128.0.0.0
255.255.255.252
255.255.224.0
~~255.192.255.0~~

Форматы записи IP-адресов/масок

адрес **192.168.0.1 / 24** маска

- Десятичный с точками (dotted decimal)
 - 192.168.0.1 **255.255.255.0**
- Двоичный (бинарный)
 - 11000000.10101000.00000000.00000001
11111111.11111111.11111111.00000000
- Шестнадцатеричный
 - 0xC0A80001 **0xFFFFFFFF00**

IP адрес и маска подсети

IP-адрес
172.16.123.204

Маска
255.255.224.0

	128	64	32	16	8	4	2	1
172	1	0	1	0	1	1	0	0
16	0	0	0	1	0	0	0	0
123	0	1	1	1	1	0	1	1
204	1	1	0	0	1	1	0	0
255	1	1	1	1	1	1	1	1
224	1	1	1	0	0	0	0	0

1	8	9	16	17	24	25	32
10101100	00010000	011	11011	11001100			
11111111	11111111	111	00000	00000000			
128 64 32 16 8 4 2 1	128 64 32 16 8 4 2 1	128 64 32 16 8 4 2 1	128 64 32 16 8 4 2 1	128 64 32 16 8 4 2 1	128 64 32 16 8 4 2 1		

Структура подсети

172.16.123.204
255.255.224.0

SUBNET (адрес подсети)	00000 00000000	1
HOSTS (адреса узлов)	00000 00000001	2
	00000 00000010	3

HOSTS (адреса узлов)	11011 11001011	7105
	10101100 00010000 011 11011 11001100	7106
	11011 11001101	7107
HOSTS (адреса узлов)
	11111 11111101	8190
	11111 11111110	8191
BROADCAST (широковещательный адрес)	11111 11111111	8192=2 ^N
N=13		

Бесклассовая адресация (CIDR)

- **Бесклассовая IP-адресация** (CIDR, Classless inter-domain routing) – метод IP-адресации, позволяющий гибко управлять пространством IP-адресов, используя маски подсетей

Префикс	Маска	Класс	Адресов
/32	255.255.255.255	-	1 (2^0)
/31	255.255.255.254	-	2 (2^1)
/30	255.255.255.252	-	4 (2^2)
...
/22	255.255.252.0	4C	1024 (2^{10})
/21	255.255.248.0	8C	2048 (2^{11})
...
/1	128.0.0.0	128A	2^{31}
/0	0.0.0.0	256A	2^{32}

Пример 1: количество узлов

- Подсеть задана адресом 192.168.1.128 с маской 255.255.255.240. Найти максимальное количество узлов в подсети.
- Общее количество адресов подсети равняется 2^N , где N – число бит IP-адреса, относящихся к адресу узла, т.е. число «нулей» в маске подсети
- Маска 255.255.255.240: 28 единиц, 4 нуля
- $2^N = 2^4 = 16$, из которых первый и последний зарезервированы как SUBNET и BROADCAST
- Ответ: 14 узлов

Пример 2: SUBNET/BROADCAST

- Даны IP-адрес и маска 172.16.114.159/19. Найти SUBNET и BROADCAST для данной подсети.

- «Единицы» в маске кончаются в 3-ем байте. Запишем этот байт адреса и маски в двоичной форме.

172.16. 011 11011 . 159

255.255. 111 00000 . 0

- Найдем границу адресов сети и узла. Для получения адреса SUBNET заполним все

172.16. 011 00000 . 0

биты адреса узла «нулями», для BROADCAST – «единицами». Левую часть (адрес сети) не меняем.

172.16. 011 11111 . 255

- Запишем ответ в десятичном виде:

SUBNET=172.16.96.0 BROADCAST=172.16.127.255

Пример 3: NETMASK

- Даны адреса SUBNET 192.168.16.0 и BROADCAST 192.168.31.255. Определить маску подсети.

- Различия начинаются в 3-ем байте.

Запишем его в двоичной форме.

192.168.	0001	0000	. 0
192.168.	0001	1111	. 255
255.255.	1111	0000	. 0

- Все адреса подсети, включая SUBNET и BROADCAST, имеют общую часть – адрес сети; битам адреса сети в маске соответствуют единицы. Определим биты адреса сети и запишем маску по границе бит сети и узла.
- Запишем ответ в префиксном виде: 20

Пример 4: принадлежность

- Определить, входит ли узел с IP-адресом 172.16.156.140 в подсеть 172.16.0.0/17.

- Для решения задачи найдем максимально возможный адрес узла в данной подсети (HOSTMAX). Он будет предпоследним, т.е. HOSTMAX=BROADCAST-1

172.16.	0	0000000	. 0
255.255.	1	0000000	. 0
172.16.	0	1111111	. 254

- HOSTMAX=172.16.127.254. Сравним его с исходным IP=172.16.156.140. Получим, что заданный адрес больше максимального в исходной подсети.
- Ответ: нет, не входит.

Пример 5: CIDR

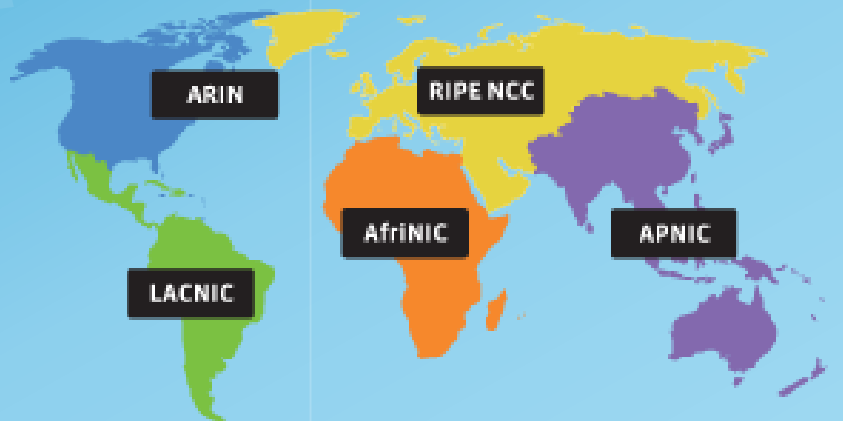
- Дан диапазон адресов 172.16.0.0 – 172.16.112.11. Определить соответствующие CIDR-диапазоны.
- Ищем диапазоны от наибольшего к наименьшему. Первые два байта (172.16) неизменны, поэтому рассматриваем префиксы, начиная с /16
 - 172.16.0.0/16 = 172.16.0.0 – 172.16.255.255 – не подходит
 - 172.16.0.0/17 = 172.16.0.0 – 172.16.127.255 – не подходит
 - 172.16.0.0/18 = 172.16.0.0 – 172.16.63.255 – первый диапазон найден
- Оставшийся диапазон: 172.16.64.0 – 172.16.112.11
 - 172.16.64.0/19 = 172.16.64.0 – 172.16.95.255 – второй диапазон найден
- 172.16.96.0 – 172.16.112.11
 - 172.16.96.0/20 = 172.16.96.0 – 172.16.111.255 – третий диапазон
- 172.16.112.0 – 172.16.112.11
 - 172.16.112.0/21 = 172.16.112.0 – 172.16.119.255 – не подходит
 - ...
 - 172.16.112.0/29 = 172.16.112.0 – 172.16.112.7 – четвертый диапазон
- 172.16.112.8 – 172.16.112.11
 - 172.16.112.8/30 = 172.16.112.8 – 172.16.112.11 – последний диапазон

Пространство IP-адресов



Internet Assigned Numbers Authority

- **IANA** (*Internet assigned numbers authority* – администрация адресного пространства Интернет) – некоммерческая организация, управляющая пространствами IP-адресов, доменов верхнего уровня, а также параметры прочих протоколов Интернета, <http://www.iana.org>



- **ICANN** (*Internet corporation for assigned names and numbers*) – головная организация IANA, <http://www.icann.org>
- Региональные/локальные интернет-регистраторы

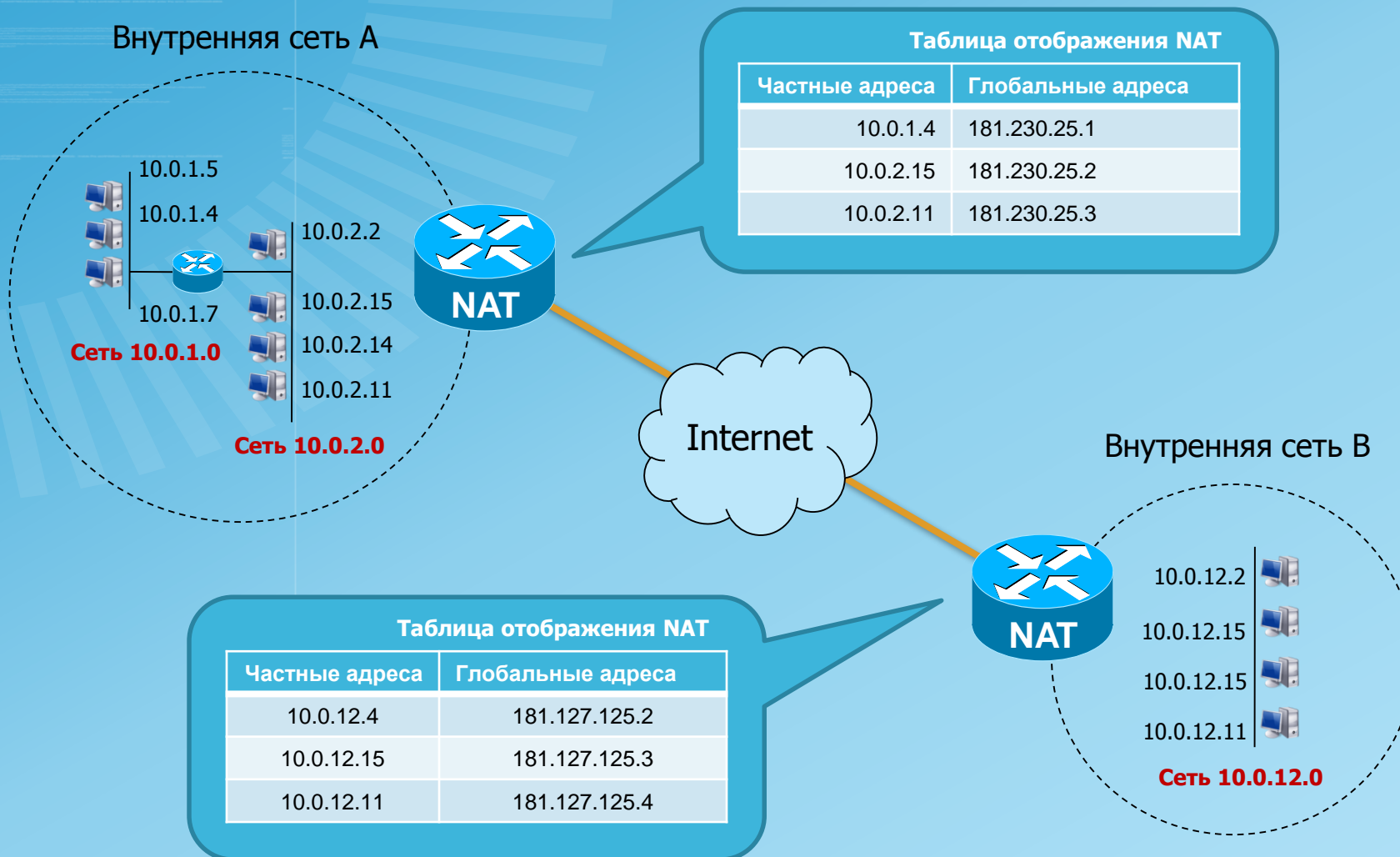
Зарезервированные IP-адреса (RFC 5735)

CIDR	Назначение
0.0.0.0/8	broadcast в текущей сети (RFC 1700)
10.0.0.0/8	«приватные» IP-адреса, диапазон А (RFC 1918)
127.0.0.0/8	loopback to localhost
169.254.0.0/16	адреса автоматической настройки при сбое DHCP
172.16.0.0/12	«приватные» IP-адреса, диапазон В (RFC 1918)
192.0.2.0/24	TEST-NET (только для документации)
192.88.99.0/24	преобразование IPv6 в IPv4 (RFC 3068)
192.168.0.0/16	«приватные» IP-адреса, диапазон С (RFC 1918)
198.18.0.0/15	тестирование межсетевых взаимосвязей (RFC 2544)
198.51.100.0/24	TEST-NET-2 (только для документации)
203.0.113.0/24	TEST-NET-3 (только для документации)
224.0.0.0/4	групповые MULTICAST-адреса (RFC 3171)
240.0.0.0/4	адреса, зарезервированные IANA
255.255.255.255/32	ограниченный (limited) broadcast

Private IP

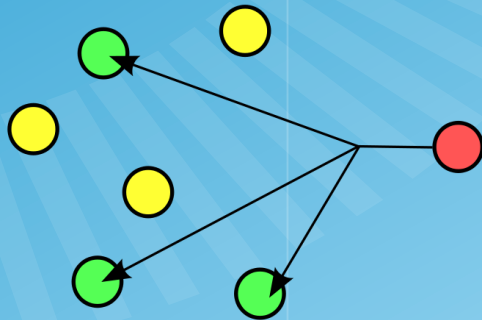
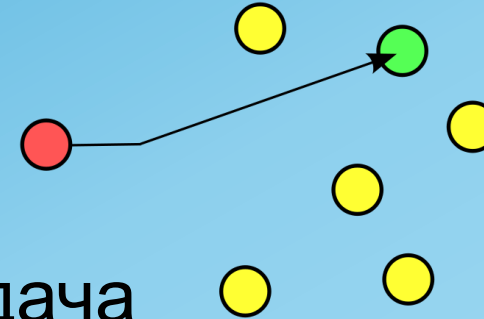
- В автономных сетях могут использоваться любые синтаксически правильные IP-адреса
- RFC 1918 выделяет ряд диапазонов, специально предназначенных для автономных сетей:
 - **10.0.0.0 – 10.255.255.255 (10.0.0.0/8)**
одна сеть класса А
 - **172.16.0.0 – 172.31.255.255 (172.16.0.0/12)**
16 сетей класса В
 - **192.168.0.0 – 192.168.255.255 (192.168.0.0/16)**
256 сетей класса С
- Для выхода в Интернет таких узлов необходимо выполнить трансляцию этих «серых» (внутренних) IP-адресов во внешние – NAT (network address translation)

Трансляция сетевых адресов



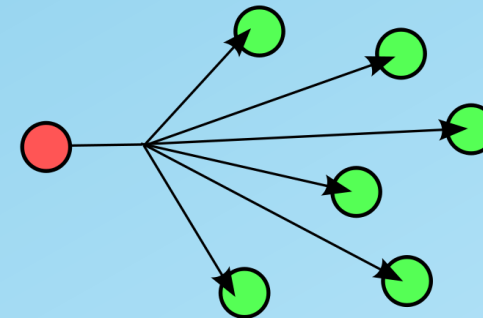
Способы адресации

□ **Unicast** – передача сообщения единственному адресату



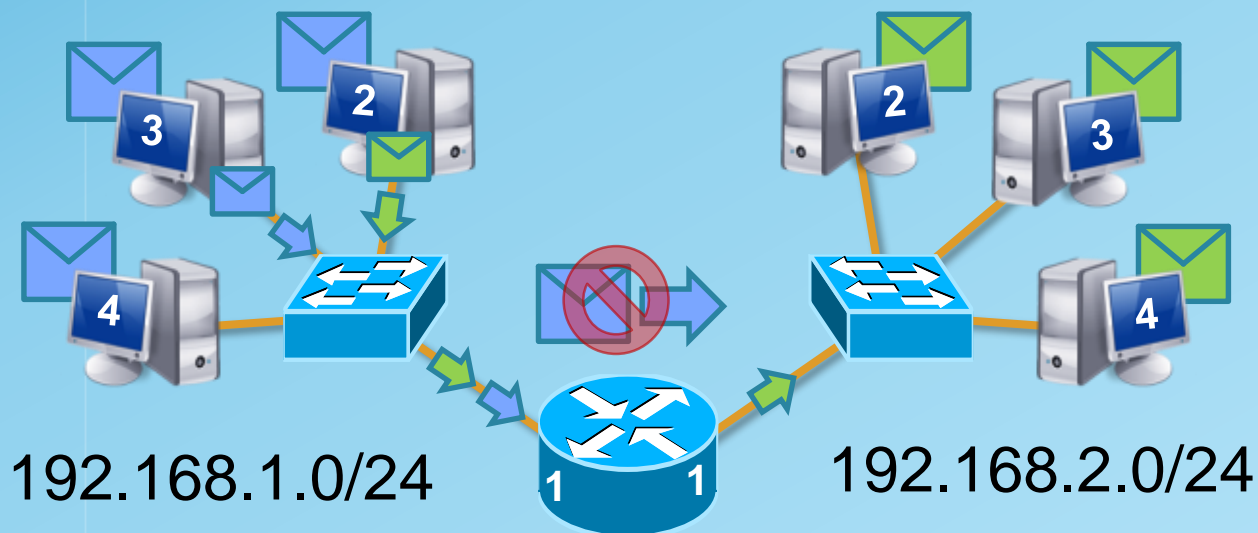
□ **Multicast** – передача сообщения нескольким адресатам, описываемым общим адресом

□ **Broadcast** – передача сообщения всем доступным адресатам, описываемым общим адресом (широковещательная рассылка)



Broadcast-адреса

- **Широковещательный адрес** — условный (не присвоенный никакому узлу сети) адрес для передачи широковещательных сообщений (т.е. сообщений всем узлам сети)
- **FF:FF:FF:FF:FF:FF** – широковещательный MAC-адрес, кадр распространяется в пределах текущего broadcast-домена
- **Направленный (directed) broadcast** – широковещательное сообщение в удалённую подсеть по broadcast-адресу данной подсети ✉ (например, **192.168.2.255** для сети 192.168.2.0/24)
- **Ограниченный (limited) broadcast** – широковещательное сообщение по текущему broadcast-домену ✉ **255.255.255.255**

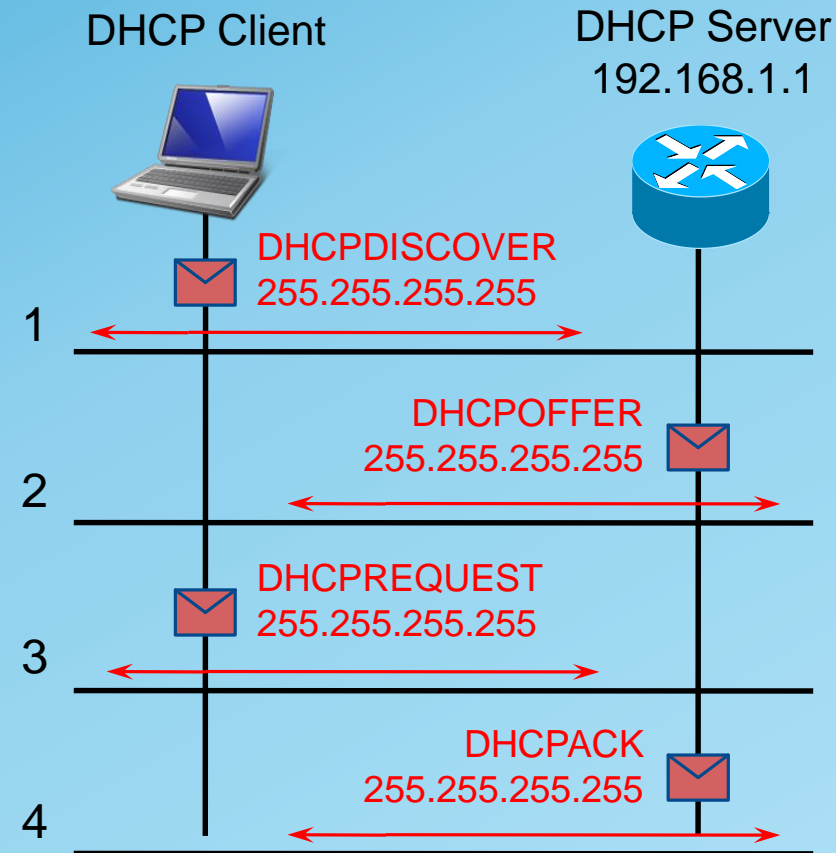


Протокол DHCP

- **DHCP** (dynamic host configuration protocol) – протокол удаленной настройки сетевых узлов,
- Обеспечивает удалённое автоматизированное присвоение узлам сети IP-адресов и других настроек
- Режимы работы
 - Ручной – жесткое соответствие MAC и IP адресов, задаётся вручную на сервере
 - Автоматический – жесткое соответствие MAC и IP адресов, задаётся автоматически сервером, бессрочно
 - Динамический – адреса выделяются автоматически на ограниченное время (lease duration, срок аренды)

DHCP – принцип работы

1. **DHCPDISCOVER** – поиск доступных DHCP серверов
2. **DHCPOFFER** – сервер предлагает клиенту адрес
3. **DHCPREQUEST** – выбор клиентом одной конфигурации из предложенных, извещение серверов
4. **DHCPACK** – подтверждение сервером выбранной конфигурации



Протоколы разрешения адресов

TCP/IP

Link Layer

- **ARP** (Address resolution protocol) – определение локального адреса (например, MAC) по сетевому адресу (например, IP)
- Стандарты **RFC 826** – An Ethernet Address Resolution Protocol, Internet Standard **STD37**
- **InARP** (Inverse address resolution protocol) – определение сетевого адреса по локальному
- **NDP** (Neighbor discovery protocol) – для IPv6

ARP-cache

192.168.1.23	0080.48eb.7e60	Dynamic
192.168.1.1	0080.5a21.c722	Static

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\ss.STANKIN>arp -a

Interface: 192.168.1.13 --- 0xb
Internet Address      Physical Address      Type
192.168.1.2           00-18-71-ec-10-d7     dynamic
192.168.1.3           00-18-71-ec-0e-6d     dynamic
192.168.1.67          00-18-71-ec-11-f1     dynamic
192.168.1.76          00-04-61-95-3d-f4     dynamic
192.168.1.85          1c-6f-65-4b-4c-55     dynamic
192.168.1.99          00-50-da-39-4f-80     dynamic
192.168.1.103         20-cf-30-9e-e5-58     dynamic
192.168.1.108         00-04-61-77-79-32     dynamic
192.168.1.111         20-cf-30-9e-e5-c4     dynamic
192.168.1.113         20-cf-30-9e-e5-b3     dynamic
192.168.1.118         00-04-61-9c-4a-8a     dynamic
192.168.1.122         c8-4c-75-76-d6-9b     dynamic
192.168.1.135         00-50-bf-4a-55-d1     dynamic
192.168.1.209         00-22-15-41-13-63     dynamic
192.168.1.255         ff-ff-ff-ff-ff-ff     static
224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     static
224.0.0.252           01-00-5e-00-00-fc     static
239.192.152.143       01-00-5e-40-98-8f     static
239.255.255.250       01-00-5e-7f-ff-fa     static

C:\Users\ss.STANKIN>
```


ARP – формат пакета

	биты 0-7	8-15	16-31
0	HTYPE (Hardware Type) – код технологии канального уровня, 0x0001 для Ethernet)		PTYPE (Protocol Type – код протокола сетевого уровня, 0x0008 для IP)
32	HLEN – длина физ. адреса [Байт]	PLEN – длина лог. адреса [Байт]	OPER (Operation) – код операции (1 – запрос, 2 – ответ)
64	SHA (Sender hardware address) – физический адрес отправителя		
96	SHA (32-48)		SPA (Sender protocol address) – логический адрес отправителя
128	SPA (16-32)		THA (Target hardware address) – физический адрес получателя
160	THA (16-48)		
192	TPA (Target protocol address) – логический адрес получателя		

ARP – принцип работы

	биты 0-7	8-15	16-31
0	HTYPE = 0x0001		PTYPE = 0x0008
32	HLEN = 6	PLEN = 4	OPER = 1
64	SHA (0-31) = 0x00E026AF		
96	SHA (32-48) = 0x3A2D		SPA (0-15) = 0xAC10
128	SPA (16-32) = 0x0302		THA (0-15) = 0x000000
160	THA (16-32) = 0x0000		
192	TPA = 0xAC100301		

	биты 0-7	8-15	16-31
0	HTYPE = 0x0001		PTYPE = 0x0008
32	HLEN = 6	PLEN = 4	OPER = 2
64	SHA (0-31) = 0x08000020		
96	SHA (32-48) = 0x1111		SPA (0-15) = 0xAC10
128	SPA (16-32) = 0x0301		THA (0-15) = 0xE026
160	THA (16-32) = 0xAF3A2D		
192	TPA = 0xAC100302		

