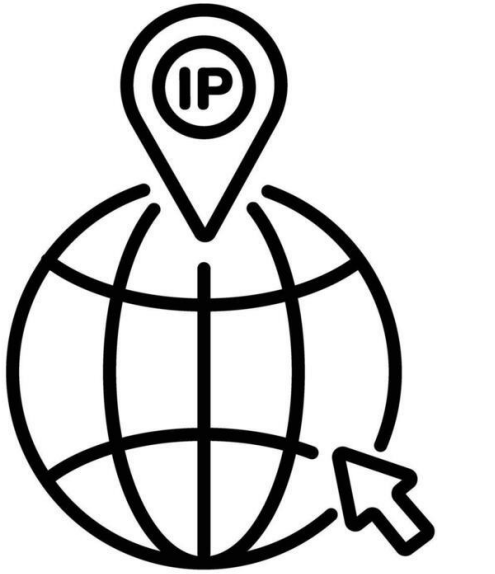
Протокол IP



Internet Protocol

Николаев Михаил, Миллер Никита
09-442

Модель OSI: семь уровней

№	Уровень	Назначение	Примеры
7	Прикладной	доступ приложений к сети	HTTP, DNS, SMTP
6	Представления	форматы данных, шифрование	TLS, JPEG
5	Сеансовый	управление сеансами	RPC
4	Транспортный	сквозная передача, порты	TCP, UDP
3	Сетевой	адресация, маршрутизация	IP, ICMP
2	Канальный	кадры, MAC-адреса	Ethernet, Wi-Fi
1	Физический	передача битов	кабель, радиосигнал

Стек протоколов TCP/IP: четыре уровня

Уровень	Протоколы	Единица данных
Прикладной	HTTP, DNS, DHCP, SMTP	сообщение
Транспортный	TCP, UDP	сегмент, дейтаграмма
Сетевой (межсетевой)	IP, ICMP, IGMP	пакет
Доступа к сети	Ethernet, Wi-Fi, PPP	кадр

Сравнение моделей OSI и TCP/IP

OSI	TCP/IP
7 Прикладной, 6 Представления, 5 Сеансовый	Прикладной
4 Транспортный	Транспортный
3 Сетевой	Сетевой (межсетевой)
2 Канальный, 1 Физический	Доступа к сети

- OSI — теоретическая эталонная модель, TCP/IP — реально работающий стек
- Уровни 5–7 OSI в TCP/IP объединены в прикладной

Место протокола IP в стеке

- IP — сетевой уровень: L3 в OSI, межсетевой уровень в TCP/IP
- Выше: TCP, UDP, ICMP; тип указан в поле Protocol заголовка IP
- Ниже: пакет IP вкладывается в кадр Ethernet (EtherType 0x0800)
- Маршрутизаторы работают на уровне IP, коммутаторы — на канальном
- Инкапсуляция: данные → сегмент → пакет IP → кадр → биты

Общая характеристика протокола IP

IP (internet protocol) – основной протокол сетевого уровня стека TCP/ IP

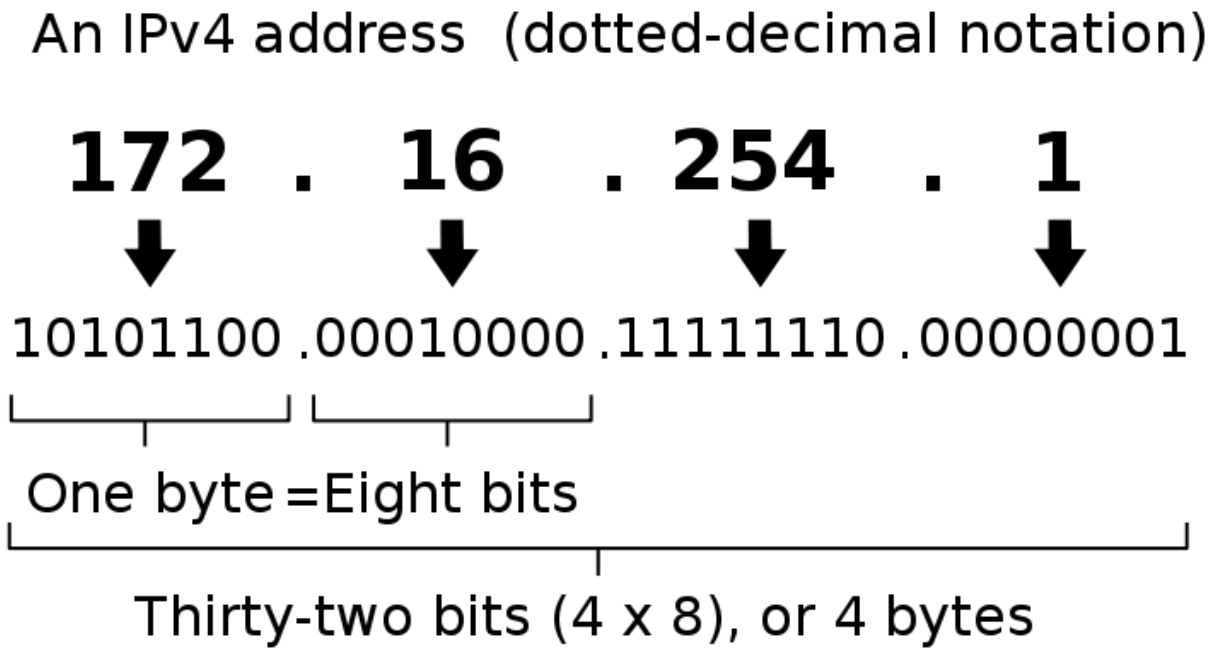
- Объединяет разнородные сети в составную сеть
- Не устанавливает соединение соединение
- При доставке возможны потери, дубли, перемешивание

Основные функции: адресация, маршрутизация, фрагментация.

Адресация в IP-сетях. Структура IP-адреса

- IPv4-адрес: 32 бита, четыре октета (0–255) через точку
- Адрес = номер сети + номер узла
- Адрес присваивается интерфейсу, а не компьютеру
- Адреса выдают IANA (Россия тоже входит) → региональные регистраторы → провайдеры

```
172.16.254.1 = 10101100.00010000.11111110.00000001
```



Классы сетей IP

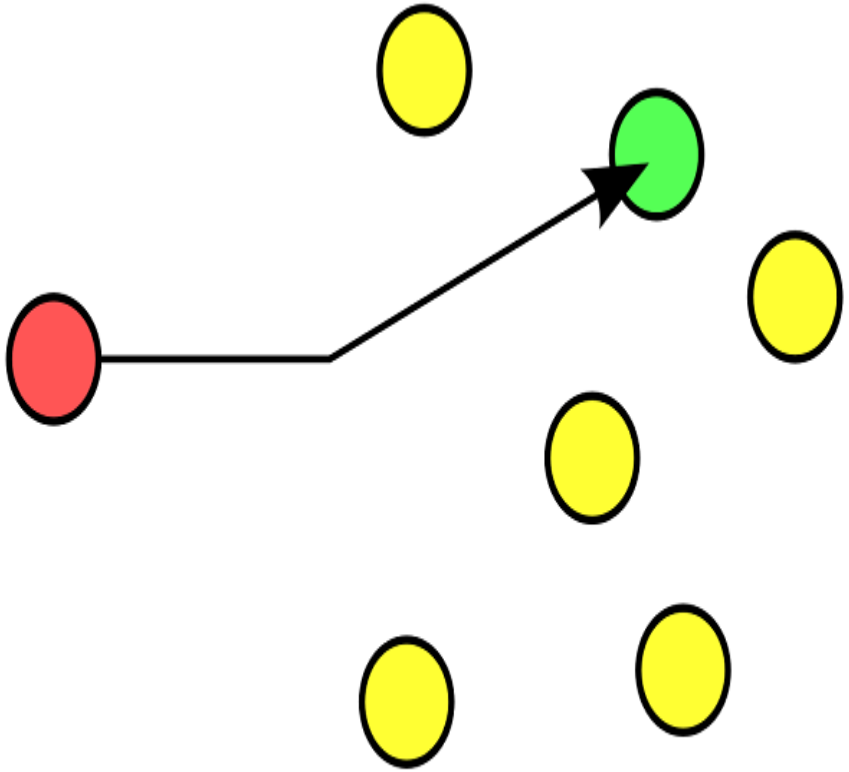
Класс	Старшие биты	1-й октет	Сеть/узел, бит	Узлов
A	0	1–126	8 / 24	16 777 214
B	10	128–191	16 / 16	65 534
C	110	192–223	24 / 8	254
D	1110	224–239	multicast	—
E	1111	240–255	резерв	—

Частные сети (RFC 1918): 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16

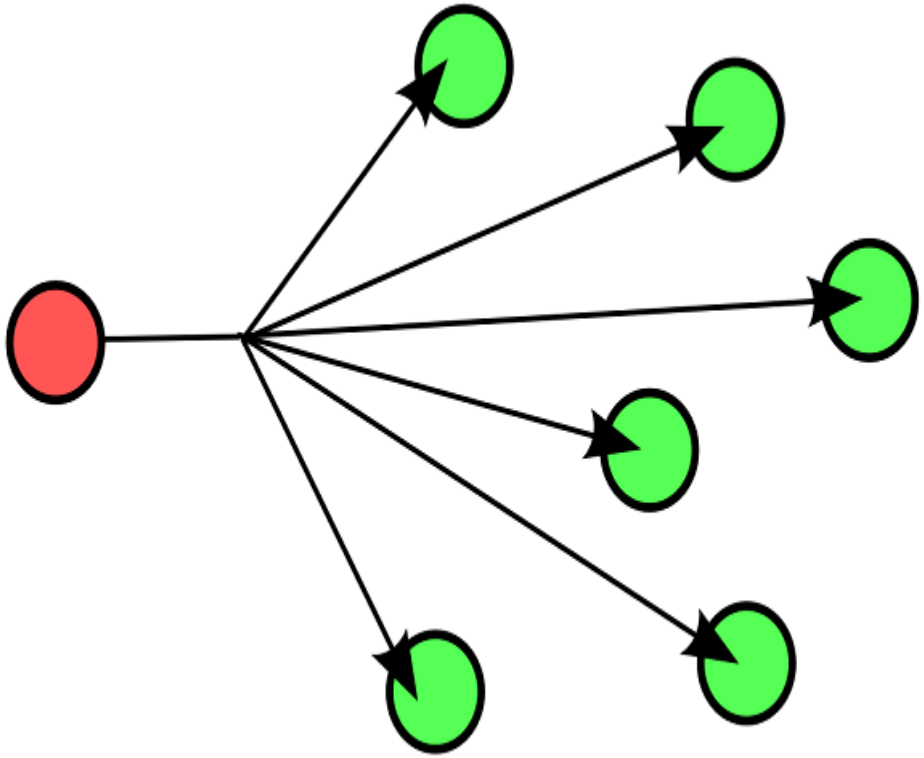
Виды трафика в IP-сетях

- Unicast: один отправитель, один получатель (HTTP, SSH)
- Broadcast: один ко всем узлам сети (ARP-запрос, DHCP Discover)
- Multicast: один ко группе подписчиков (IPTV, видеоконференции)
- Anycast: одному из группы, ближайшему (корневые DNS-серверы)

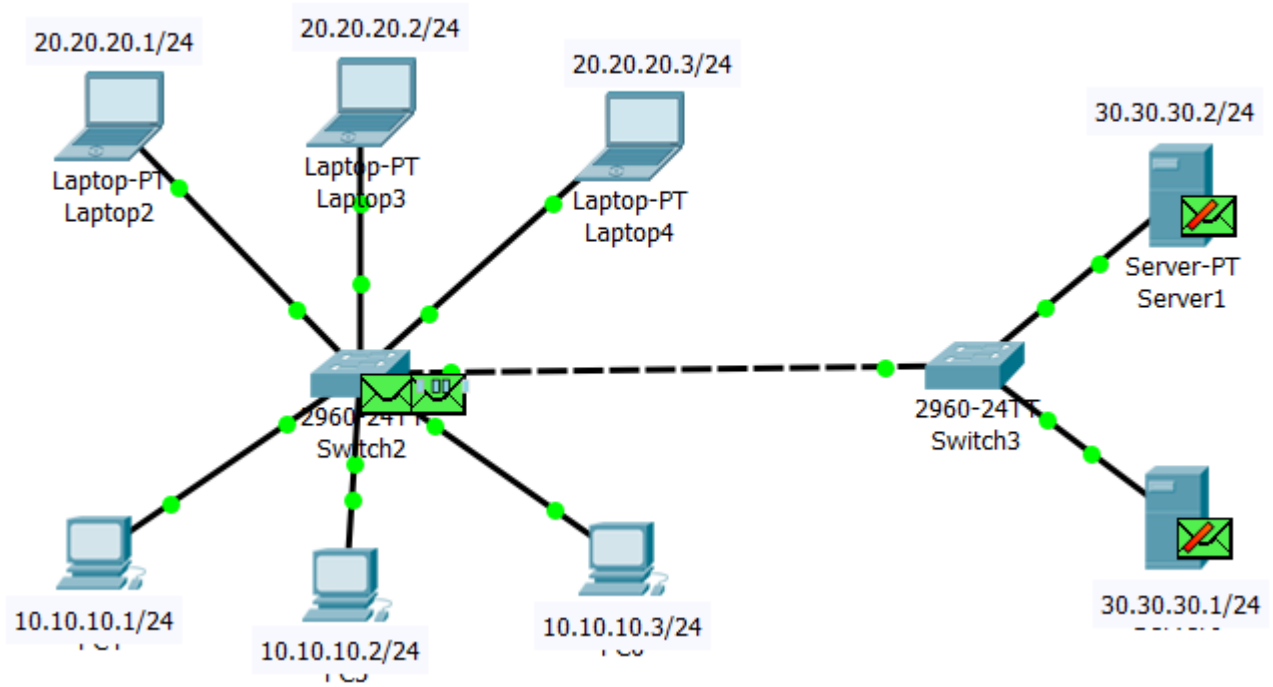
Unicast



Multicast



Пинг на 10.10.10.255



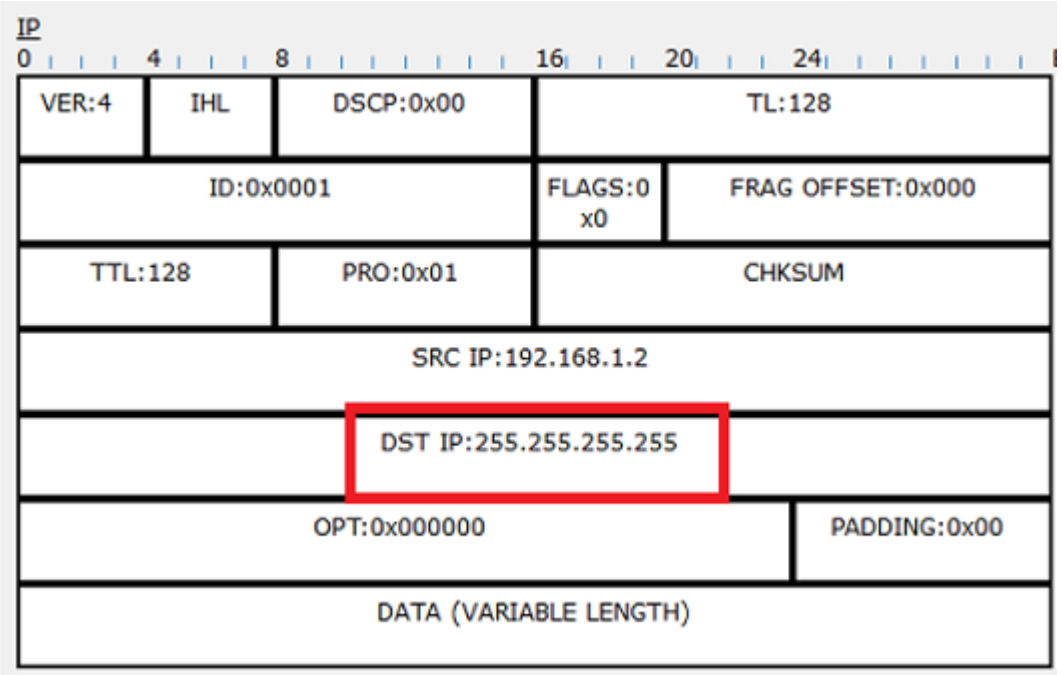
На multicast запрос ответили только компьютеры, потому что только они находятся в одной подсети с узлом 10.10.10.1

Специальные адреса: broadcast, multicast, loopback

Адрес	Назначение
255.255.255.255	ограниченный broadcast (только своя сеть)
192.168.1.255	направленный broadcast сети 192.168.1.0/24
224.0.0.0–239.255.255.255	multicast, напр. 224.0.0.5 — OSPF
127.0.0.0/8	loopback, обычно 127.0.0.1 (localhost)
0.0.0.0	«этот узел», маршрут по умолчанию
169.254.0.0/16	link-local (APIPA), если DHCP недоступен

Формат пакета IP

Реальный пакет



Модель пакета

Версия (Version)	Длина (IHL)	Тип сервиса (ToS)	Общая длина пакета (Total Lenght)	
Идентификатор			Флаги	Смещение фрагмента
Время жизни (TTL)		Протокол (см. след. слайд)	Контрольная сумма	
Адрес отправителя (Source IP address)				
Адрес получателя (Destination IP address)				
Опции (поле переменной длины)				Выравнивание до 32 бит (padding)

Организация подсетей

- Подсеть — логическая часть одной IP-сети
- Часть адреса узла делится на номер подсети и номер узла
- Зачем: экономия адресов, меньше broadcast-трафика, изоляция отделов
- Подсети соединяются маршрутизаторами, у каждой свой номер

Структуризация сетей IP с помощью масок

- Маска: 32 бита; единицы — сеть и подсеть, нули — узел
- Запись: 255.255.255.0 или префикс /24
- Адрес сети = IP AND маска
- Стандартные маски: A — /8, B — /16, C — /24
- Число узлов = 2^(32 − n) − 2

```
192.168.10.25 AND 255.255.255.0 = 192.168.10.0
```

Пример: деление 192.168.0.0/24 на 4 подсети

Маска /26 (255.255.255.192): занято 2 бита → 4 подсети по 62 узла

Подсеть	Узлы	Broadcast
192.168.0.0/26	.1 – .62	.63
192.168.0.64/26	.65 – .126	.127
192.168.0.128/26	.129 – .190	.191
192.168.0.192/26	.193 – .254	.255

Бесклассовая маршрутизация CIDR

CIDR (classless inter-domain routing) – бесклассовая маршрутизация.

Вид: IP-address / n, где n – количество бит маски
Например: 192.168.1.0/24 = 192.168.1.0 с маской 255.255.255.0
/24 означает 24 бита выделено под адрес сети, оставшиеся 32-24=8 бит – под хосты.

Преимущества:

- Экономия адресного пространства
- Гибкость (VLSM)
- Агрегация маршрутов

Хосты – 2^32 -2,

Где вычитыемые 2 – адреса на мультикаст и адрес сети.

Соответствие префиксов CIDR, десятичных масок и количества хостов

Префикс	Количество бит сети	Количество бит хостов	Десятичная маска	Количество хостов
/24	24	8	255.255.255.0	254
/25	25	7	255.255.255.128	126
/26	26	6	255.255.255.192	62
/27	27	5	255.255.255.224	30
/28	28	4	255.255.255.240	14
/29	29	3	255.255.255.248	6
/30	30	2	255.255.255.252	2

Отображение MAC-адресов на IP. Таблица соответсвия

ARP (address resolution protocol – сопоставление IP -> MAC.

Отправляется Broadcast запрос на необходимый IP address. Ответ приходит от нужного IP адреса unicast запросом. Полученная связка сохраняется в кеш-таблицу на 2-20 минут.

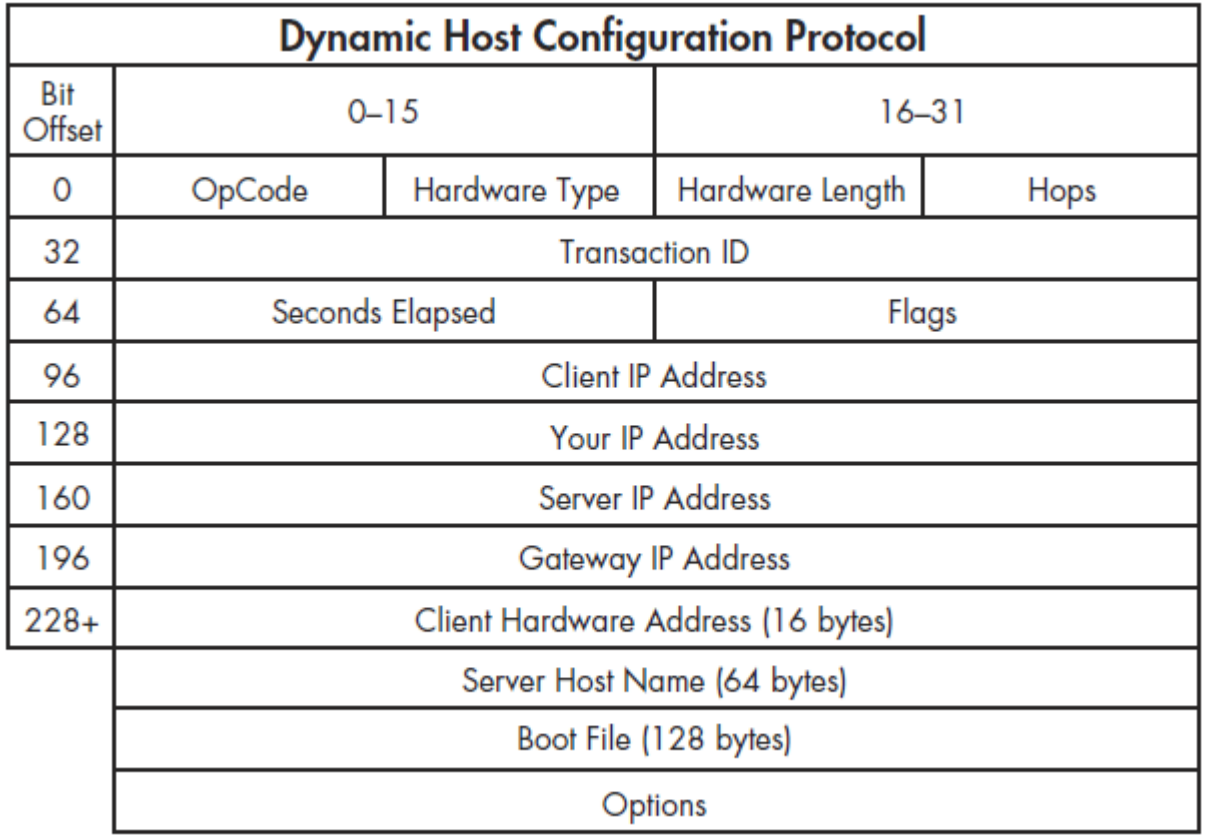
Reverse ARP устарел и не используется.

```
C:\Users\nikit>arp -a

Интерфейс: 26.36.44.50 --- 0xd
  адрес в Интернете      Физический адрес      Тип
  26.0.0.1              02-00-00-00-51-00     динамический
  26.255.255.255        ff-ff-ff-ff-ff-ff     статический
  224.0.0.2             01-00-5e-00-00-02     статический
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     статический
  224.0.0.251           01-00-5e-00-00-fb     статический
  224.0.0.252           01-00-5e-00-00-fc     статический
  239.255.255.250       01-00-5e-7f-ff-fa     статический

Интерфейс: 192.168.0.163 --- 0x15
  адрес в Интернете      Физический адрес      Тип
  192.168.0.1           74-fe-ce-90-fb-ce     динамический
  192.168.0.255         ff-ff-ff-ff-ff-ff     статический
  224.0.0.2             01-00-5e-00-00-02     статический
  224.0.0.22            01-00-5e-00-00-16     статический
  224.0.0.251           01-00-5e-00-00-fb     статический
  224.0.0.252           01-00-5e-00-00-fc     статический
  224.0.0.253           01-00-5e-00-00-fd     статический
  239.255.255.250       01-00-5e-7f-ff-fa     статический
  255.255.255.255       ff-ff-ff-ff-ff-ff     статический
```

Протокол DHCP

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) – автоматическая выдача IP.

DORA –
Discover – broadcast с 0.0.0.0 на 255.255.255.255
Offer – предложение IP и параметры
Request – клиент выбирает одно и запрашивает, так же broadcast, чтобы знали другие
Acknowledge – сервер подтверждает.



Dynamic Host Configuration Protocol				
Bit Offset	0–15		16–31	
0	OpCode	Hardware Type	Hardware Length	Hops
32	Transaction ID			
64	Seconds Elapsed		Flags	
96	Client IP Address			
128	Your IP Address			
160	Server IP Address			
196	Gateway IP Address			
228+	Client Hardware Address (16 bytes)			
	Server Host Name (64 bytes)			
	Boot File (128 bytes)			
	Options			

Протокол IPv6: особенности и адресация

- Адрес 128 бит: 8 групп по 16 бит в шестнадцатеричном виде
- Сокращение: нули опускают, :: один раз за адрес
- Типы: unicast, multicast, anycast; broadcast нет
- fe80::/10 — link-local, ::1 — loopback, 2000::/3 — глобальные
- Автонастройка SLAAC, встроенная поддержка IPsec

```
2001:0db8:0000:0000:0000:0000:0000:0001 = 2001:db8::1
```

Формат заголовка пакета IPv6

- Фиксированная длина 40 байт
- Version, Traffic Class, Flow Label
- Payload Length, Next Header, Hop Limit (аналог TTL)
- Source и Destination по 128 бит
- Нет контрольной суммы и фрагментации на маршрутизаторах
- Дополнительные функции: цепочка заголовков расширения

Структура пакета IPv6

Байт	Бит	0		1	2	3
		0-3	4-11	12-15	16-23	24-31
0	0	Версия	Класс трафика	Метка потока		
4	32	Длина полезной нагрузки			След. заголовок	Hop Limit
8-20	64-160	IP-адрес отправителя				
24-36	192-288	IP-адрес получателя				
37-...	320-...	Расширенные заголовки				
...	....	Данные				

Утилиты командной строки ipconfig, ifconfig

Команда	Действие
ipconfig	IP, маска, шлюз (Windows)
ipconfig /all	+ MAC, DHCP, DNS, срок аренды
ipconfig /release, /renew	освободить и обновить аренду DHCP
ipconfig /flushdns	очистить DNS-кэш
ifconfig	параметры интерфейсов (Linux, macOS)
ifconfig eth0 192.168.1.10 netmask 255.255.255.0	назначить адрес

В современном Linux вместо ifconfig используют ip addr

Ipconfig /release, ipconfig /renew и ipconfig /flushdns помогают избавиться от проблемы отсутствия соединения из-за багов с VPN.

Ipconfig /all

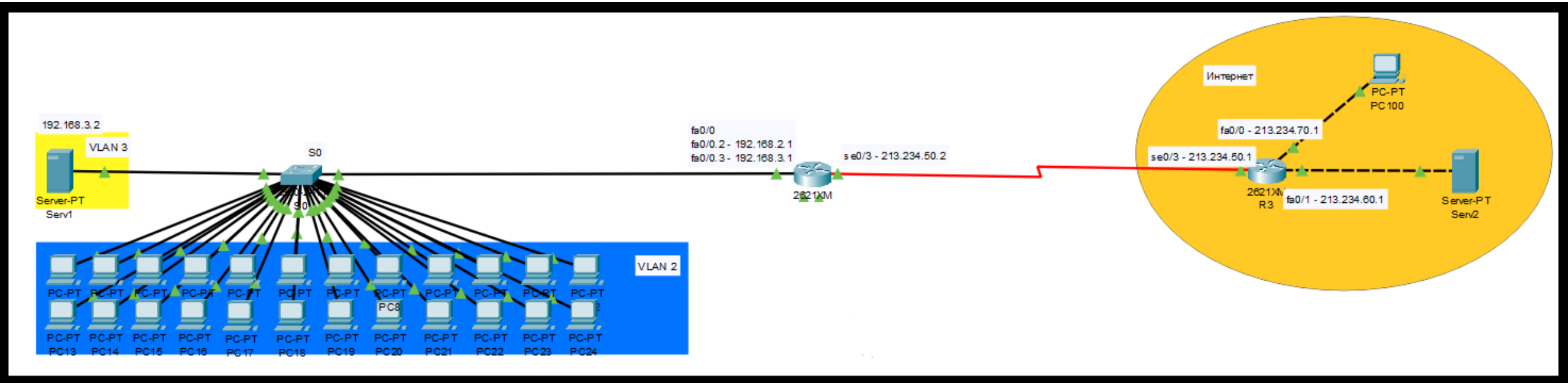
```
Адаптер Ethernet Ethernet 7:

   DNS-суффикс подключения . . . . . :
   Описание. . . . . . . . . . . . . : Realtek Gaming 2.5GbE Family Controller #2
   Физический адрес. . . . . . . . . : D8-43-AE-C3-27-BF
   DHCP включен. . . . . . . . . . . : Да
   Автонастройка включена. . . . . . : Да
   IPv4-адрес. . . . . . . . . . . . : 192.168.0.163(Основной)
   Маска подсети . . . . . . . . . . : 255.255.255.0
   Аренда получена. . . . . . . . . . : 14 ноября 2026 г. 17:46:41
   Срок аренды истекает. . . . . . . . . . : 15 ноября 2026 г. 1:16:10
   Основной шлюз. . . . . . . . . : 192.168.0.1
   DHCP-сервер. . . . . . . . . . . : 192.168.0.1
   DNS-серверы. . . . . . . . . . . : 8.8.8.8
                                      8.8.4.4
   NetBios через TCP/IP. . . . . . . . : Включен
```

Система NAT. Трансляция адресов

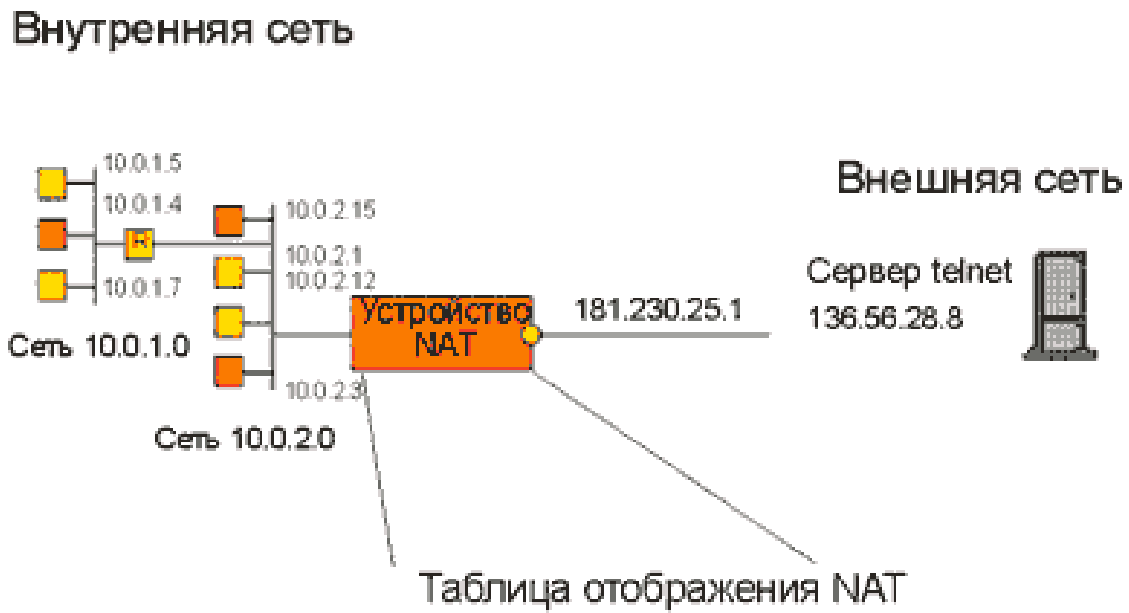
- Частные адреса не маршрутизируются в интернет, NAT подменяет их на границе
- Static NAT 1:1; Dynamic NAT — пул адресов; PAT — один внешний IP, разные порты
- Минусы: нарушает сквозную связность, мешает P2P и VoIP

Внутри	Снаружи
192.168.1.10:51000	203.0.113.5:40001
192.168.1.11:51000	203.0.113.5:40002

Пример схемы NAT



Трансляция адресов



Частные адреса	Порт	Глобальные адреса	Назначенный порт
10.0.1.4	1245	181.230.25.1	3451
10.0.2.15	1245	181.230.25.1	3452
10.0.2.3	1045	181.230.25.1	3455

- Клиент шлёт запрос на сервер
- Пакет приходит на роутер
- Роутер меняет Source IP и Source Port
- Сохраняет запись в таблицу
- Пакет уходит в интернет
- Сервер отвечает на подмененный адрес
- Роутер смотрит в таблицу
- Меняет обратно на локальный IP
- Пакет доходит до устройства