



МОСКОВСКИЙ
АВИАЦИОННЫЙ
ИНСТИТУТ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Ethernet



Введение в сетевые технологии

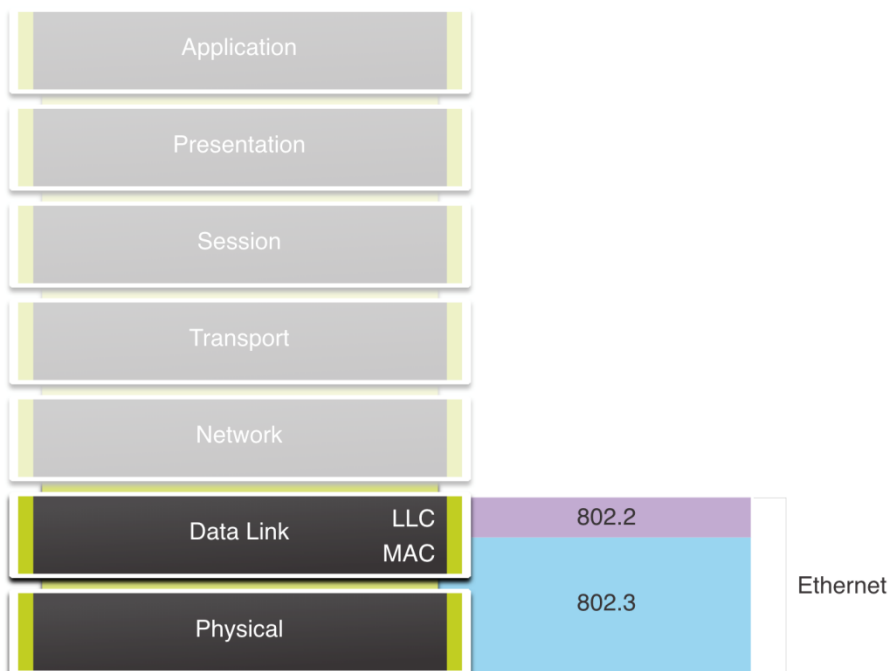
Инкапсуляция Ethernet

Ethernet —

- наиболее широко распространённая технология сети LAN
- Функционирует на канальном и физическом уровнях
- Семейство сетевых технологий, которые регламентируются стандартами IEEE 802.2 и 802.3
- Поддерживает пропускную способность 10, 100, 1000, 10 000, 40 000 и 100 000 Мбит/с (100 Гбит/с)

Стандарты Ethernet —

- определяют протоколы 2-го уровня и технологии 1-го уровня
- Работа с двумя отдельными подуровнями в канальном уровне — протокол управления логической связью (LLC) и подуровнем MAC





Подуровни LLC и MAC

LLC

- Управляет обменом данными между верхним и нижним уровнями
- Берёт данные сетевого протокола и добавляет контрольные данные, которые позволяют упростить процесс доставки пакета в место назначения

MAC-адрес

- Образует нижний подуровень канального уровня
- Реализуется посредством аппаратного обеспечения, обычно сетевым адаптером компьютера
- Две основные задачи подуровня MAC:
 - инкапсуляция данных;
 - управление доступом к среде передачи данных.

Подуровень МАС

Инкапсуляция данных

- Сборка кадра перед передачей и разборка кадра после его получения
- Уровень МАС-адреса добавляет заголовок и концевик в протокольный блок данных сетевого уровня

Выполняет три основные функции:

- разграничивание кадра: определяет группу бит, составляющих кадр, выполняет синхронизацию передающих узлов с принимающими;
- адресация: все заголовки Ethernet, добавленные в кадр, содержат физический адрес (МАС-адрес), который обеспечивает возможность доставки кадра на узел назначения;
- обнаружение ошибок: все кадры Ethernet содержат концевик с циклическим избыточным кодом (CRC) содержимого кадра.



Принцип работы Ethernet

Подуровень MAC

- Отвечает за размещение кадров в среде передачи данных и их удаление из неё.
- Осуществляет обмен данными непосредственно с физическим уровнем.
- Устаревшие Ethernet, использующие топологию шины или концентраторы, являются общей полудуплексной средой передачи данных. Если устройства, подключённые к каналу передачи данных, пытаются передать данные одновременно, произойдет коллизия, которая приведёт к искажению данных и сделает их непригодными к использованию. Ethernet в полудуплексной среде использует метод доступа на основе конкуренции, обнаружение множественного доступа / обнаружение конфликтов (CSMA/CD) с поддержкой несущей.
- В современных локальных сетях Ethernet используются коммутаторы, работающие в полнодуплексном режиме. Полнодуплексная связь с коммутаторами Ethernet не требует контроля доступа через CSMA/CD.

MAC-адрес: Ethernet-личность

- MAC-адрес Ethernet 2-го уровня представляет собой 48-битное двоичное значение, выраженное как 12 шестнадцатеричных цифр.
- IEEE требует от производителя соблюдения следующих двух простых правил.
 - В качестве трёх первых байт необходимо использовать назначенный идентификатор производителя оборудования (OUI).
 - Для всех MAC-адресов с одинаковым идентификатором производителя оборудования (OUI) необходимо устанавливать уникальные значения в последних трёх байтах.

Структура MAC-адресов Ethernet





Принцип работы Ethernet

Обработка кадров

- MAC-адреса, назначенные рабочим станциям, серверам, принтерам, коммутаторам и маршрутизаторам
- Например, MAC-адреса: 00-05-9A-3C-78-00, 00:05:9A:3C:78:00 или 0005.9A3C.7800.
- Сообщение, переадресованное сети Ethernet, присоединяет данные заголовка к пакету и содержит исходный и конечный MAC-адрес назначения.
- Каждый сетевой адаптер просматривает данные, чтобы определить, совпадает ли конечный MAC-адрес назначения в кадре с физическим MAC-адресом устройства, сохранённым в ОЗУ.
- При отсутствии совпадения устройство отбрасывает кадр.
- При наличии совпадения с конечным MAC-адресом назначения кадра сетевой адаптер передаёт кадр вверх по уровням OSI, где происходит процесс декапсуляции.

Атрибуты кадра Ethernet

Инкапсуляция Ethernet

- Скорость ранних версий Ethernet была относительно низкой, всего 10 Мбит/с.
- В настоящее время она составляет 10 Гбит в секунду и выше.
- Структура кадра Ethernet добавляет заголовки и концевики вокруг PDU 3-го уровня для инкапсуляции отправляемого сообщения.



Ethernet II — это формат кадра Ethernet, используемый в сетях TCP/IP.



Атрибуты кадра Ethernet

Размер кадра Ethernet

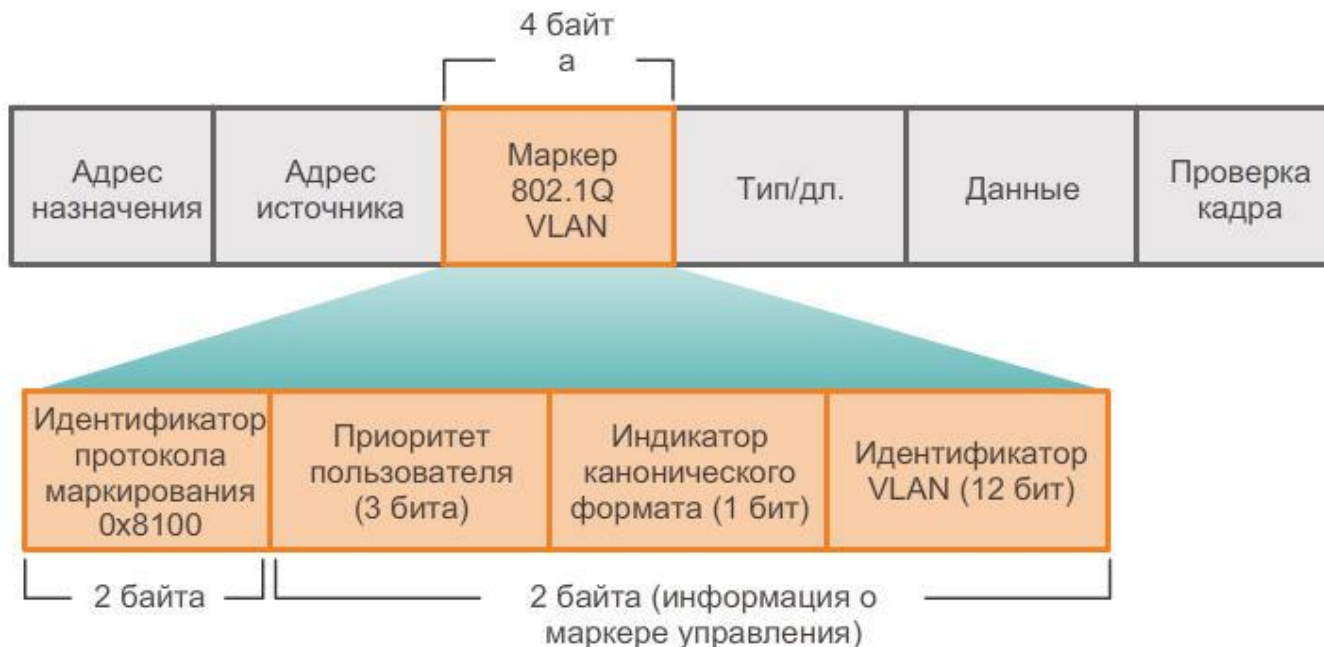
- Стандарты Ethernet II и IEEE 802.3 определяют минимальный размер кадра как 64 байт, а максимальный — как 1518 байт. К этому количеству относятся все байты, начиная с поля «MAC-адрес назначения» и заканчивая полем «Контрольная последовательность кадра (FCS)». Поля «Преамбула» и «Начало разделителя кадра (SFD)» при описании размера кадра не включаются.
- Кадры длиной менее 64 байт считаются «фрагментами коллизии» или «карликовыми кадрами».
- Если размер переданного кадра не достигает минимального значения или превышает максимальное, принимающее устройство отбрасывает кадр.
- На физическом уровне различные версии стандарта Ethernet различаются используемыми методами обнаружения и размещения данных в среде передачи данных.

Атрибуты кадра Ethernet

Размер кадра Ethernet

Стандарт IEEE 802.3ac, выпущенный в 1998 году, позволил увеличить максимальный допустимый размер кадра до 1522 байт. Размер кадра был увеличен для использования технологии, которая называется «виртуальной локальной сетью» (VLAN). На рисунке показаны поля, составляющие метку виртуальной локальной сети (VLAN) стандарта 802.1Q

Дополнительные 4 байта позволяют использовать технологии QoS и VLAN



Атрибуты кадра Ethernet

Размер кадра Ethernet

IEEE 802.3

7	1	6	6	2	46—1500	4
Преамбула	Начало разделителя кадра	Адрес назначения	Адрес источника	Длина	Заголовок и данные стандарта 802.2	Контрольная последова- тельность кадра

Основными полями кадра Ethernet являются следующие:

Поля «Преамбула» и «Начало разделителя кадра». Поля «Преамбула» (7 байт) и «Начало разделителя кадра (SFD)», которое также называется «Начало кадра» (1 байт), используются для синхронизации отправляющих и получающих устройств. Эти первые 8 байт кадра сообщают получателям о необходимости приготовиться к поступлению нового кадра.

Атрибуты кадра Ethernet

Размер кадра Ethernet

IEEE 802.3

7	1	6	6	2	46—1500	4
Преамбула	Начало разделителя кадра	Адрес назначения	Адрес источника	Длина	Заголовок и данные стандарта 802.2	Контрольная последова- тельность кадра

Поле «MAC-адрес назначения». Это поле (6 байт) является идентификатором для предполагаемого получателя. Как вы помните, этот адрес используется уровнем 2, чтобы помочь устройствам определить, адресован ли кадр именно им. Адрес в кадре сравнивается с MAC-адресом в устройстве. В случае совпадения устройство принимает кадр.

Поле «MAC-адрес источника». Это поле (6 байт) определяет сетевую плату или интерфейс, отправившие кадр.

Атрибуты кадра Ethernet

Размер кадра Ethernet

IEEE 802.3

7	1	6	6	2	46—1500	4
Преамбула	Начало разделителя кадра	Адрес назначения	Адрес источника	Длина	Заголовок и данные стандарта 802.2	Контрольная последова- тельность кадра

Поле «Длина». Это поле используется, чтобы различать кадры Ethernet II и 802.3. Если 2-октетное значение равно или превышает шестнадцатеричный формат 0x0600 или десятичное число 1536, то содержимое поля «Данные» декодируется в соответствии с протоколом Ethernet II. Если же значение равно или менее шестнадцатеричного формата 0x05DC или десятичного числа 1500, то поле «Длина» позволяет обозначить использование формата кадра IEEE 802.3.

Атрибуты кадра Ethernet

Размер кадра Ethernet

IEEE 802.3

7	1	6	6	2	46—1500	4
Преамбула	Начало разделителя кадра	Адрес назначения	Адрес источника	Длина	Заголовок и данные стандарта 802.2	Контрольная последова- тельность кадра

Поле «Данные». Это поле (46—1500 байт) содержит инкапсулированные данные из более высокого уровня, который является универсальным PDU уровня 3, или, что используется чаще, — пакетом IPv4. Длина всех кадров должна быть не менее 64 байт. В случае инкапсуляции небольшого пакета используются дополнительные биты, которые называются символами-заполнителями, для увеличения размера кадра до этого минимального значения.

Атрибуты кадра Ethernet

Размер кадра Ethernet

IEEE 802.3

7	1	6	6	2	46—1500	4
Преамбула	Начало разделителя кадра	Адрес назначения	Адрес источника	Длина	Заголовок и данные стандарта 802.2	Контрольная последова- тельность кадра

Поле «Контрольная последовательность кадра». Поле «Контрольная последовательность кадра (FCS)» (4 байта) используется для обнаружения ошибок в кадре. В нём используется циклический контроль избыточности (CRC). Отправляющее устройство включает в себя результаты циклического контроля избыточности в поле FCS кадра. Получающее устройство принимает кадр и создаёт CRC для поиска ошибок. Если расчёты совпадают, ошибки отсутствуют. Несовпадение расчётов означает изменение данных; следовательно, кадр сбрасывается. Данные могут измениться в результате нарушения электрических сигналов, которые представляют биты.



MAC-адрес и IP-адрес

MAC-адрес и IP-адрес

MAC-адрес

- Этот адрес остаётся неизменным.
- Аналогичен имени человека.
- Известен также как физический адрес, поскольку физически назначается главному сетевому адаптеру.

IP-адрес

- Аналогичен адресу человека.
- Учитывает физическое местонахождение узла.
- Известен как логический адрес, поскольку назначается логически.
- Назначается сетевым администратором каждому узлу.

Как физический MAC-адрес, так и логический IP-адрес требуются компьютеру для обмена данными в иерархической сети точно так же, как для отправки письма требуется имя и адрес человека.

MAC-адрес

Представление MAC-адресов

С тире 00-60-2F-3A-07-BC

С двоеточиями 00:60:2F:3A:07:BC

С точками 0060.2F3A.07BC

```
C:\>ipconfig/all
```

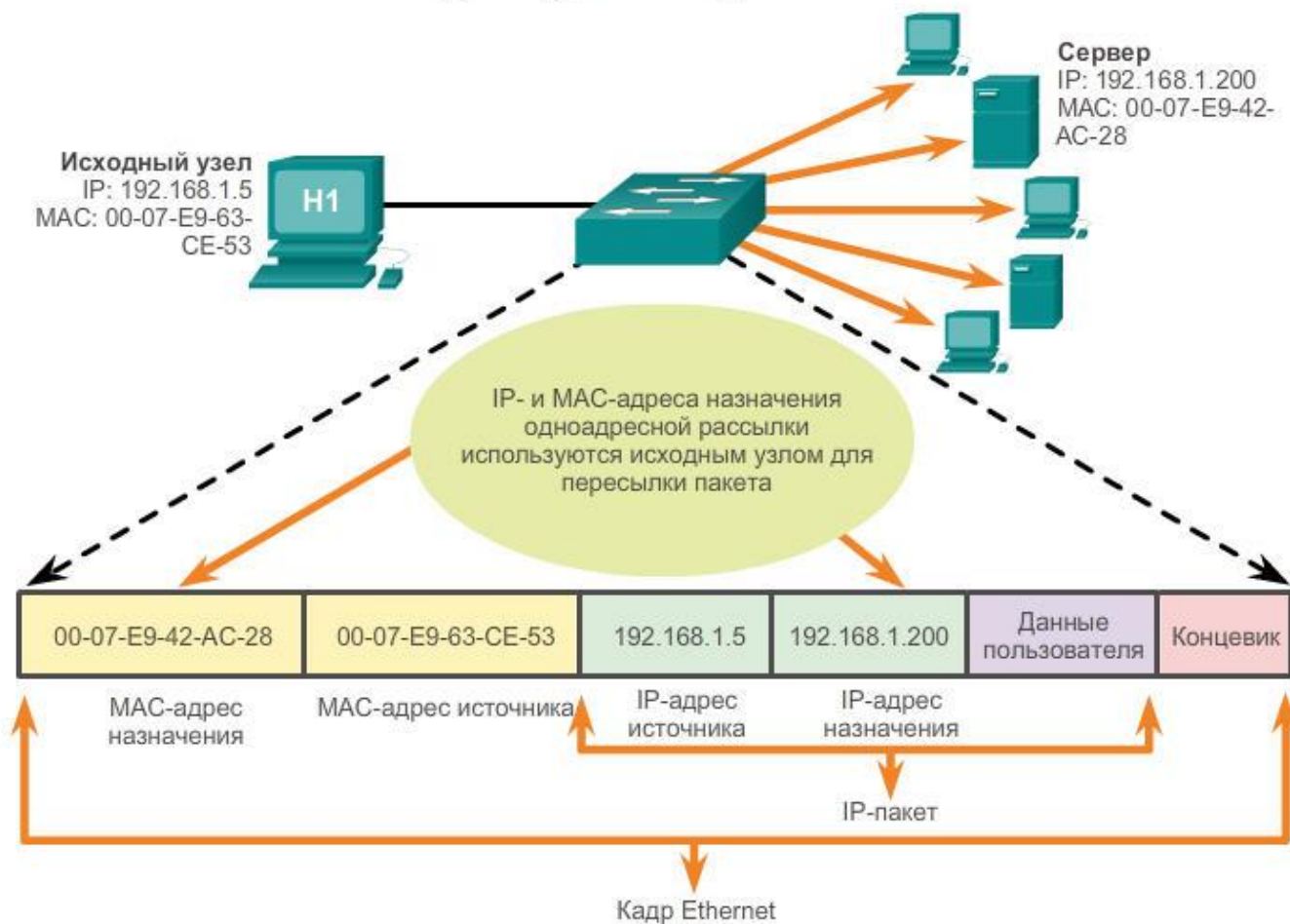
Ethernet adapter Local Area Connection:

```
Connection-specific DNS Suffix  . : example.com
Description . . . . . : Intel(R) Gigabit Network Connection
Physical Address. . . . . : 00-21-CC-BA-44-C4
DHCP Enabled. . . . . : Yes
Autoconfiguration Enabled . . . . : Yes
IPv4 Address. . . . . : 192.168.1.67 (Preferred)
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Lease Obtained. . . . . : Monday, November 26, 2012 12:14:48 PM
Lease Expires . . . . . : Saturday, December 01, 2012 12:15:02 AM
Default Gateway . . . . . : 192.168.1.254
DHCP Server . . . . . : 192.168.1.254
DNS Servers . . . . . : 192.168.1.254
```

MAC-адрес

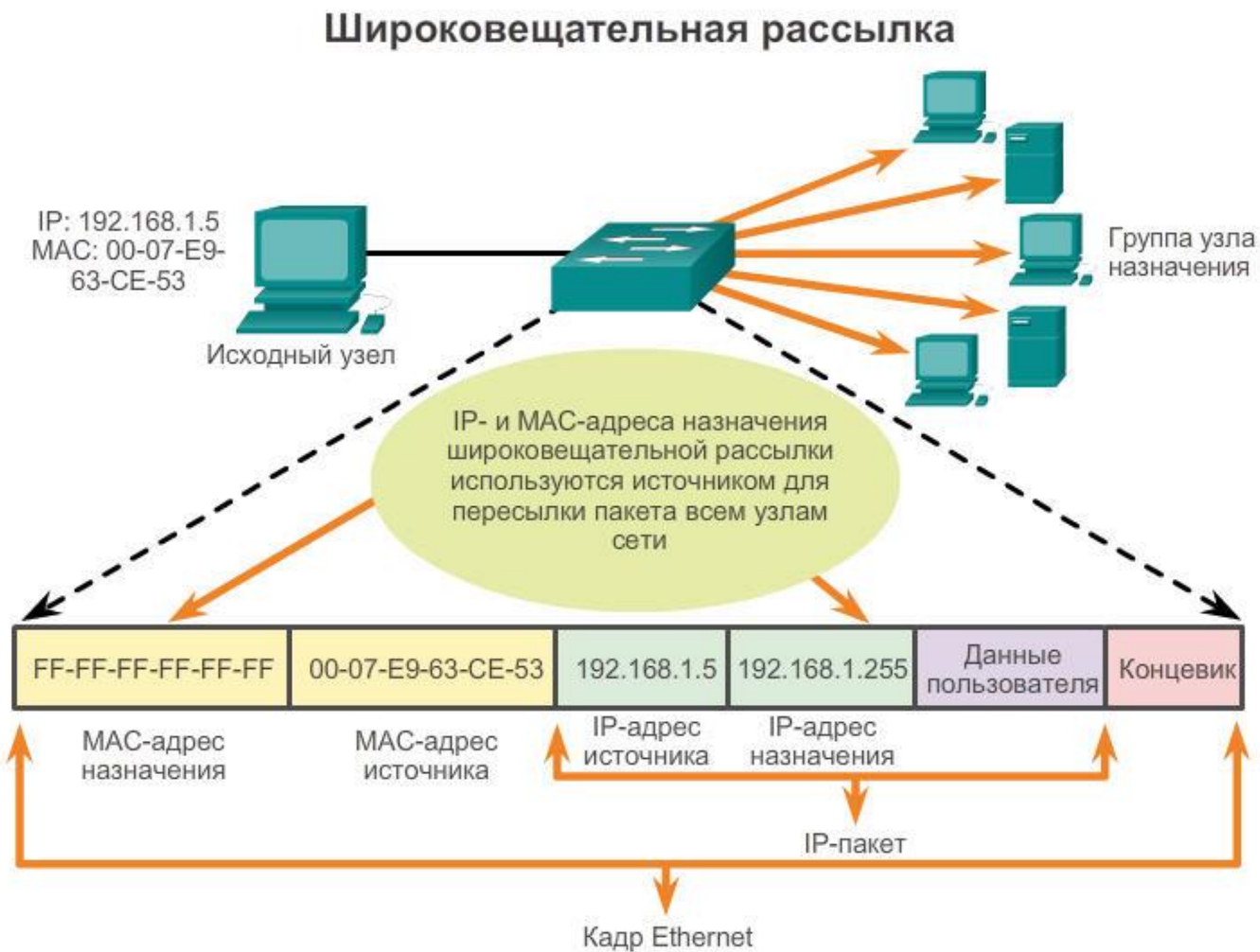
Индивидуальный MAC-адрес

Одноадресная рассылка



MAC-адрес

MAC-адрес широковещательной рассылки



MAC-адрес

MAC-адрес многоадресной рассылки



MAC-адрес многоадресной рассылки представляет собой специальное значение, которое в шестнадцатеричном формате начинается с 01-00-5E для IPv4 и 33-33 для IPv6.

Диапазон IPv4-адресов для многоадресной рассылки — от 224.0.0.0 до 239.255.255.255.

Настройки дуплексного режима

Полудуплексная передача данных (CSMA/CD)

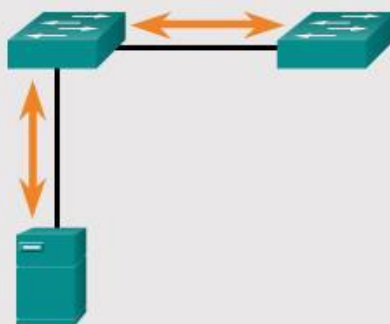
- Однонаправленный поток данных
- Более высокая вероятность коллизии
- Возможность подключения к концентратору



Отправка данных только одной стороной

Полнодуплексная передача данных

- Только «точка-точка»
- Соединение с выделенным коммутируемым портом
- Требуется поддержка полнодуплексного режима передачи на обоих концах
- Без коллизий
- Детектор коллизий отключён



Одновременная отправка и получение данных в обе стороны.
Порты Gigabit Ethernet работают только в полнодуплексном режиме.

Автоопределение позволяет двум устройствам автоматически обмениваться информацией о скорости и возможностях дуплексного режима.

Коммутация

Auto-MDIX

Для соединений между устройствами когда-то требовалось использование либо перекрестного, либо прямого кабеля. Тип необходимого кабеля зависит от типа соединительных устройств.

Прямое соединение между маршрутизатором и хостом требует перекрестного подключения.

Теперь большинство устройств поддерживают функцию автоматического определения перекрещивания пар на зависящем от среды передачи интерфейсе (Auto-MDIX). Если функция Auto-MDIX включена, коммутатор определяет необходимый тип кабеля, подключенного к порту, и настраивает интерфейс соответствующим образом.

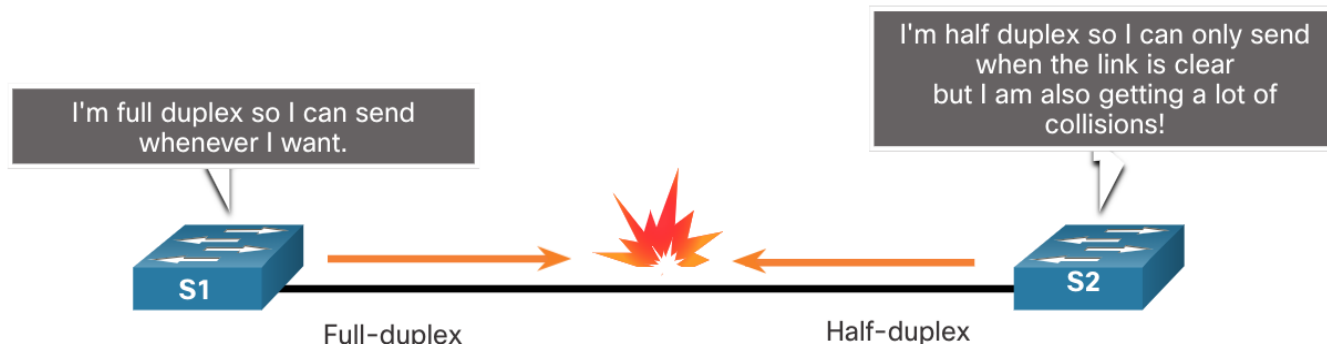
Функция Auto-MDIX включена по умолчанию на коммутаторах с операционной системой Cisco IOS 12.2 (18) SE или более поздней версии. Однако эта функция может быть отключена. По этой причине всегда следует использовать правильный тип кабеля и не полагаться на функцию автоматического MDIX.

Функция Auto-MDIX может быть повторно включена с помощью команды конфигурации интерфейса **mdix auto**



Проблемы в настройке дуплексного режима

- Несоответствие дуплексных режимов является наиболее распространенной причиной снижения производительности каналов Ethernet. Это происходит, когда один порт канала работает в полудуплексном режиме, а другой — в полнодуплексном.
- Это происходит при сбросе одного или обоих портов канала, в результате чего автоопределение не приводит к одинаковой конфигурации обоих устройств связи.
- Это также может произойти тогда, когда пользователи меняют конфигурацию на одной стороне канала и забывают про другую. Автоопределение должно быть включено либо отключено на обеих сторонах канала. Рекомендуется настроить оба порта коммутатора Ethernet в полнодуплексный режим.



Способы пересылки кадров на коммутаторы

С буферизацией



Коммутатор с буферизацией получает кадр целиком и вычисляет значение циклического контроля избыточности (CRC). Если значение CRC допустимо, коммутатор ищет адрес назначения, который определяет исходящий интерфейс. Затем кадр перенаправляется к правильному порту.

Коммутация без буферизации

Без буферизации



Сквозной коммутатор пересылает данный кадр до его полного получения. Адрес назначения кадра должен быть прочтён раньше, чем кадр можно будет перенаправить.

Два варианта:

Коммутация с быстрой передачей:

- на низшем уровне задержки выполняется немедленная пересылка пакета после чтения адреса назначения (стандартный метод коммутации без буферизации)

Коммутация с исключением фрагментов:

- коммутатор сохраняет первые 64 байта кадра перед пересылкой; большинство ошибок сети и коллизий возникает именно в первых 64 байтах

Буферизация памяти на коммутаторах

Буферизация памяти на базе портов	В процессе буферизации памяти на базе портов кадры хранятся в очередях, связанных с определёнными входящими и исходящими портами.
Общая память	При буферизации общей памяти все кадры помещаются в общий буфер памяти, который является единым для всех портов коммутатора.

Буферизация памяти на базе портов

В процессе буферизации памяти на базе портов кадры хранятся в очередях, связанных с определёнными входящими и исходящими портами. Кадр пересылается на исходящий порт только в том случае, если все кадры, находящиеся в очереди перед ним, были успешно отправлены. Один кадр может стать причиной задержки передачи всех кадров в памяти из-за занятости порта назначения. Такая задержка возникает и в том случае, если другие кадры могут быть переданы на открытые порты назначения.

Буферизация памяти на коммутаторах

Буферизация памяти на базе портов	В процессе буферизации памяти на базе портов кадры хранятся в очередях, связанных с определёнными входящими и исходящими портами.
Общая память	При буферизации общей памяти все кадры помещаются в общий буфер памяти, который является единым для всех портов коммутатора.

Буферизация совместного доступа к памяти

При буферизации совместного доступа к памяти все кадры помещаются в буфер, который является общим для всех портов коммутатора. Количество буферной памяти, которое необходимо каждому порту, выделяется динамически. Кадры в буфере динамически связываются с портом назначения. Это позволяет получать пакет на один порт и затем пересылать его на другой порт без перемещения в другую очередь.

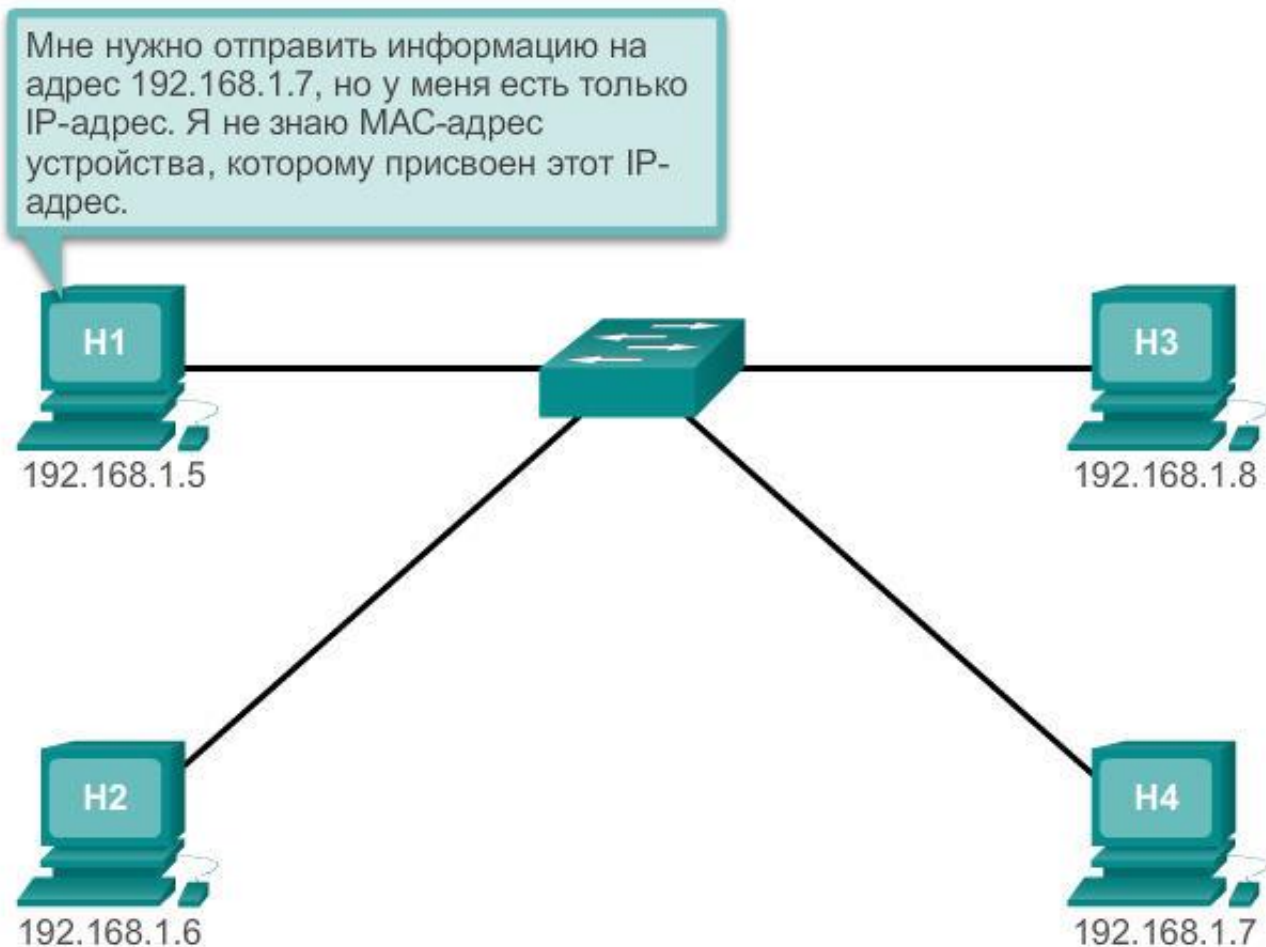


Разрешение адресов (протокол ARP)



Введение в сетевые технологии

Введение в ARP



Введение в ARP

Назначение протокола ARP

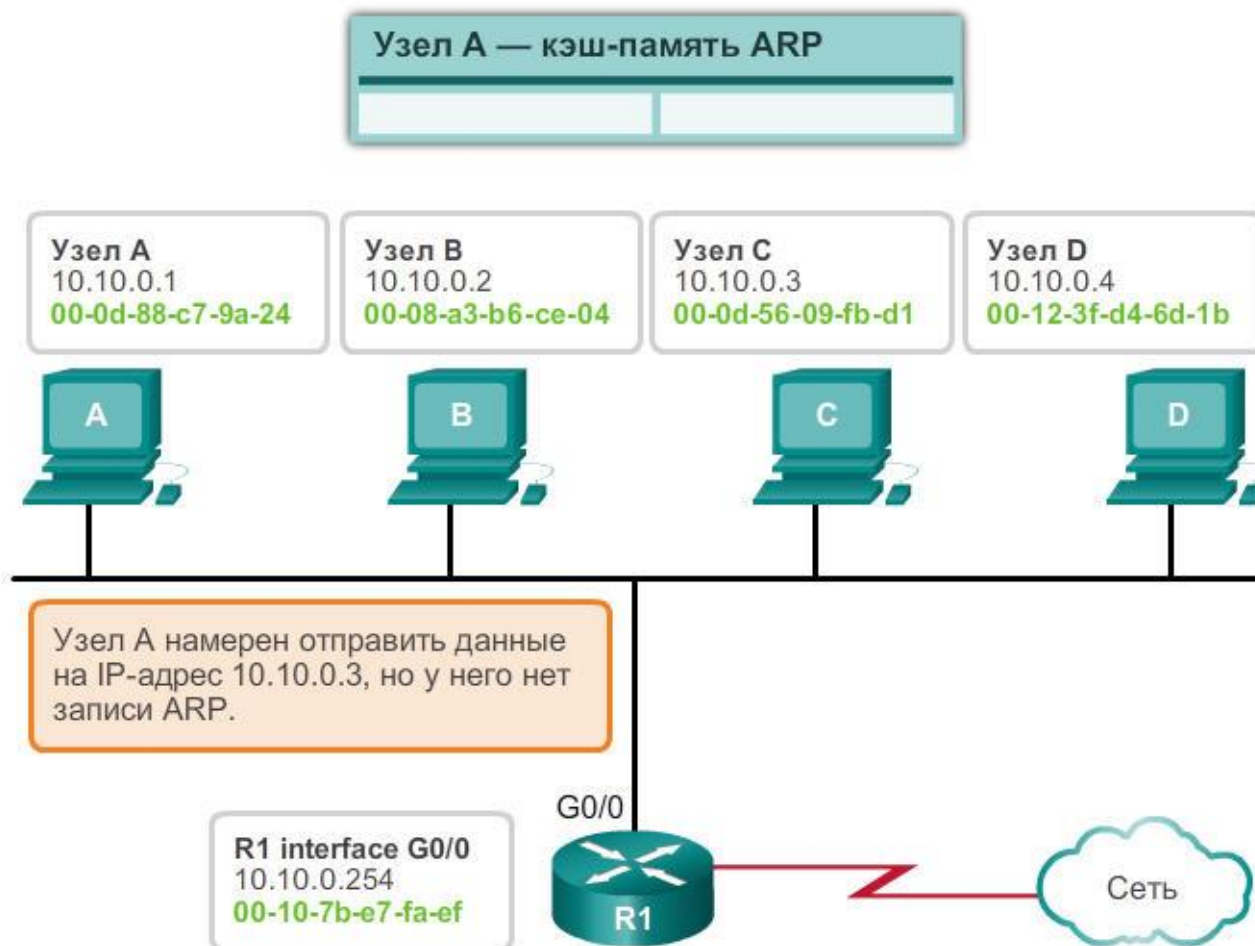
- Отправляющему узлу требуется способ поиска MAC-адреса места назначения для заданного канала Ethernet.

Протокол ARP выполняет две основные функции:

- преобразование IPv4-адресов в MAC-адреса;
- хранение таблицы преобразований.

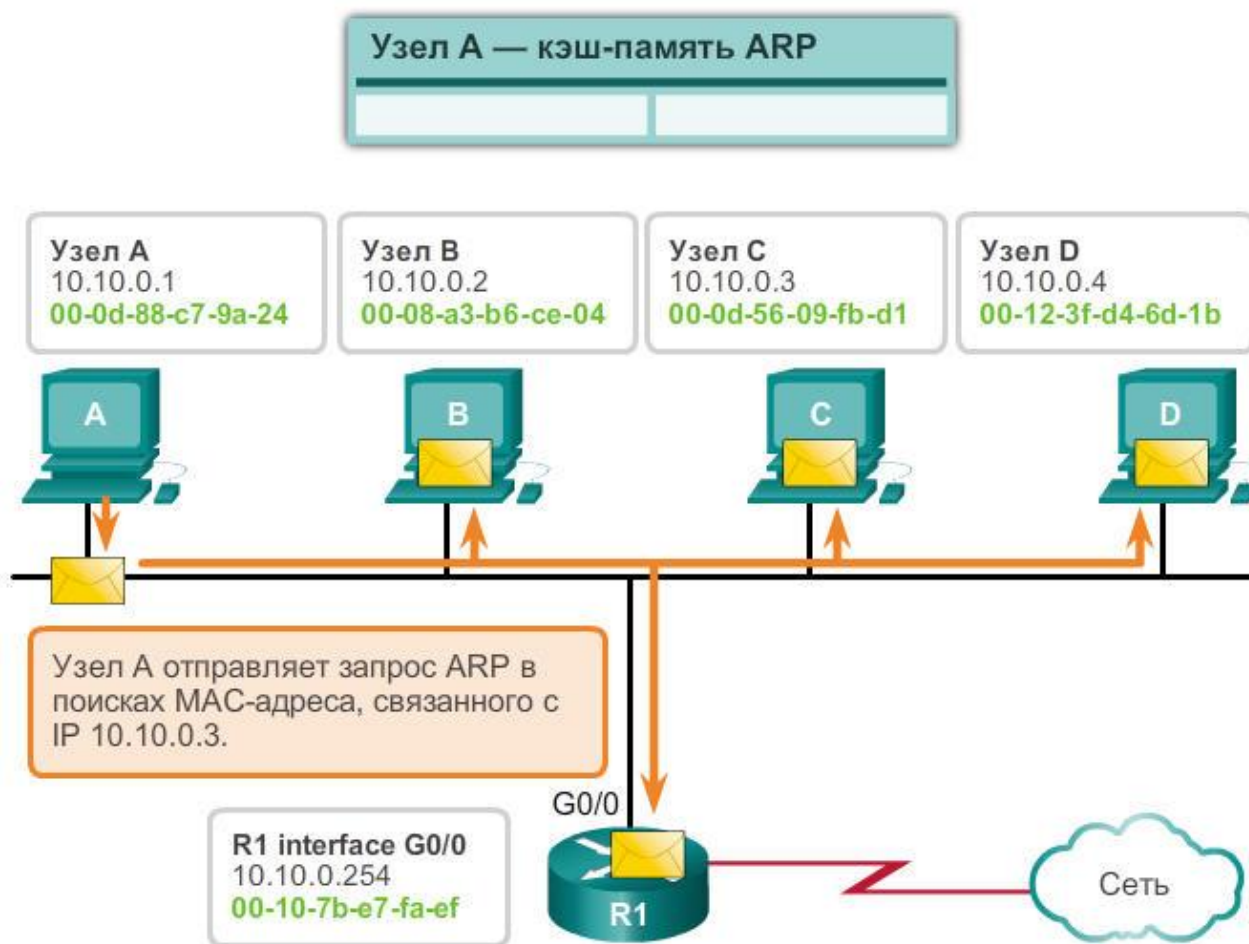
Функции и принцип действия ARP

Процесс ARP: удалённый обмен данными



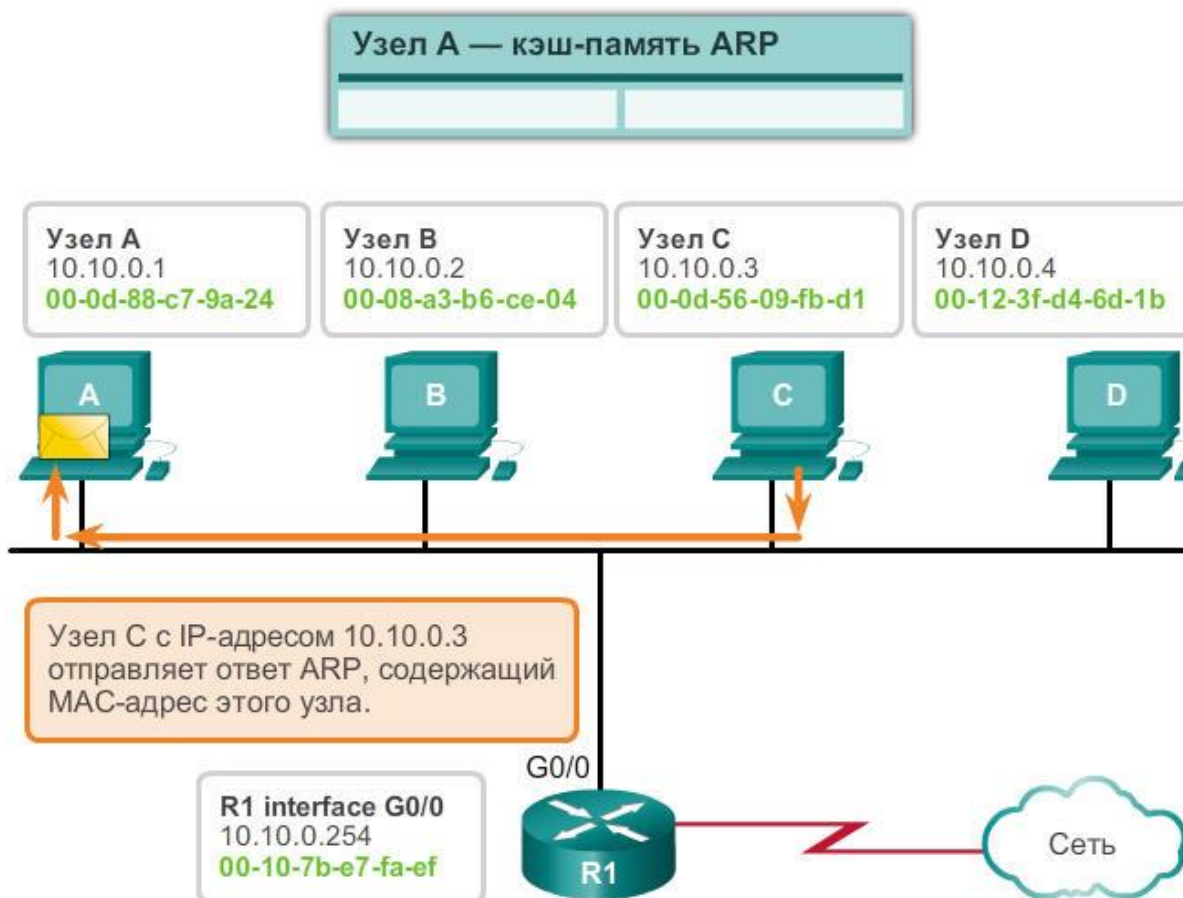
Функции и принцип действия ARP

Широковещательная рассылка запроса ARP



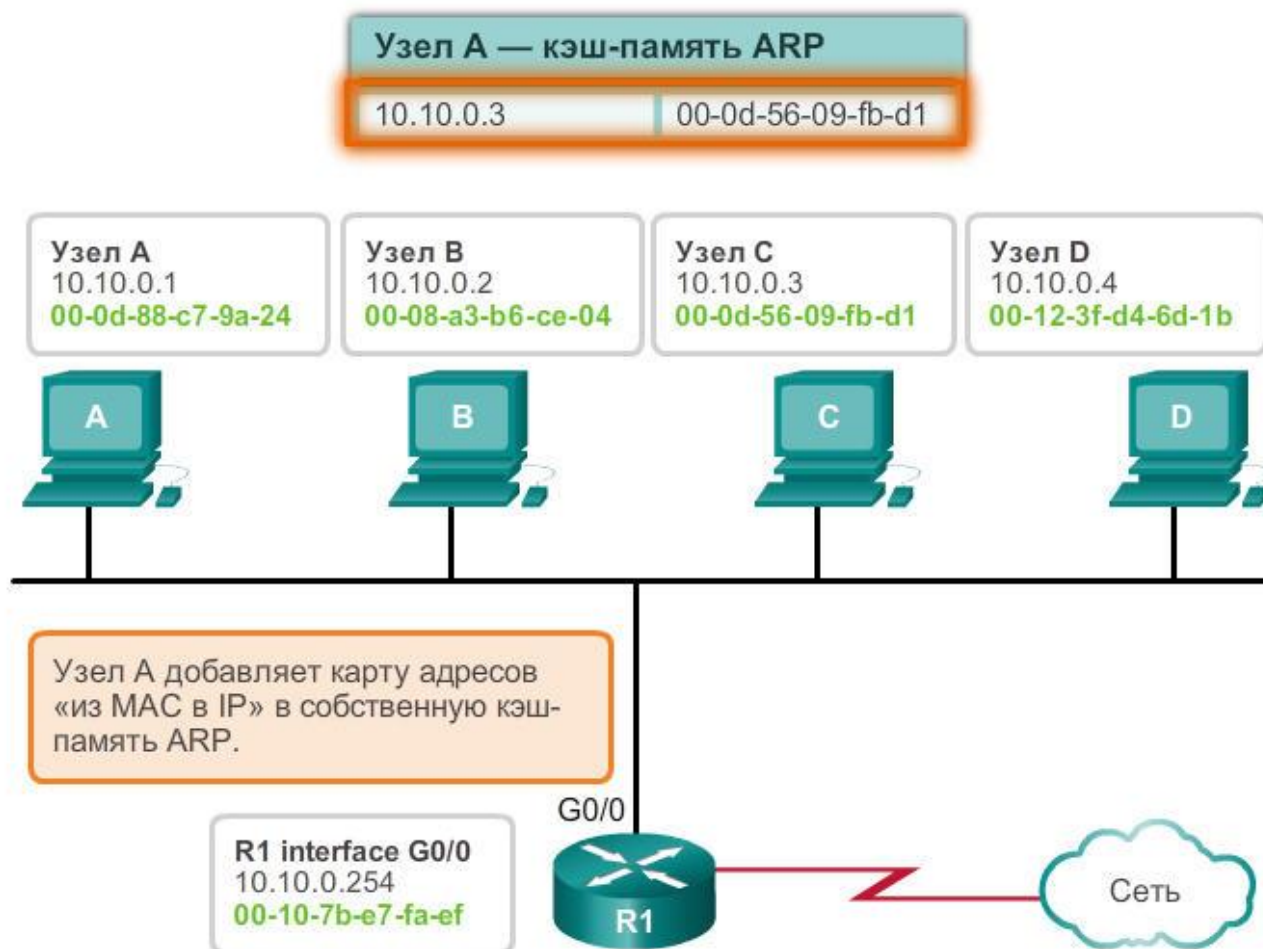
Функции и принцип действия ARP

Ответ ARP с информацией о MAC-адресе



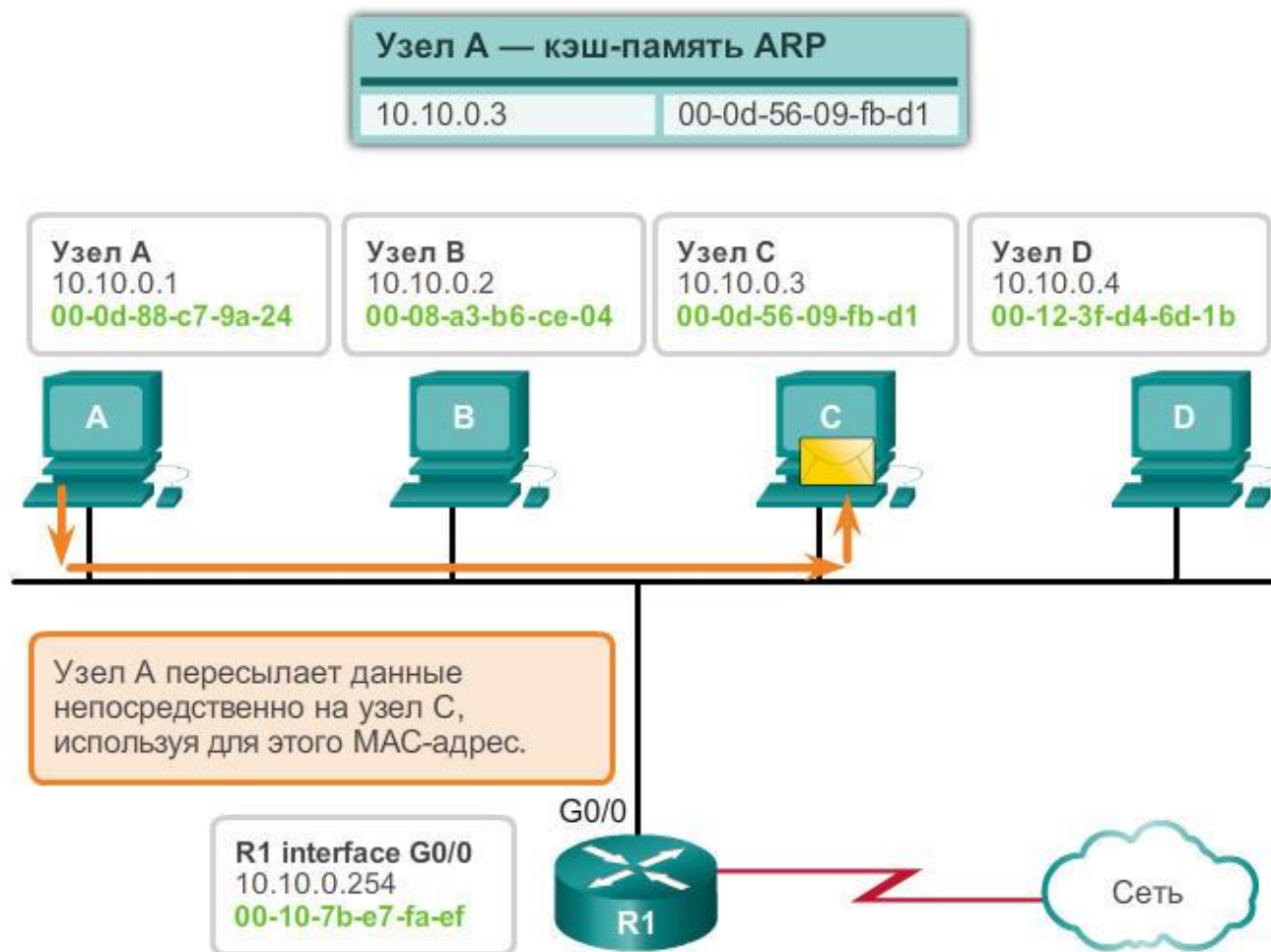
Функции и принцип действия ARP

Добавление карты адресов «из MAC в IP» в кэш-память ARP



Функции и принцип действия ARP

Пересылка данных с информацией о MAC-адресе



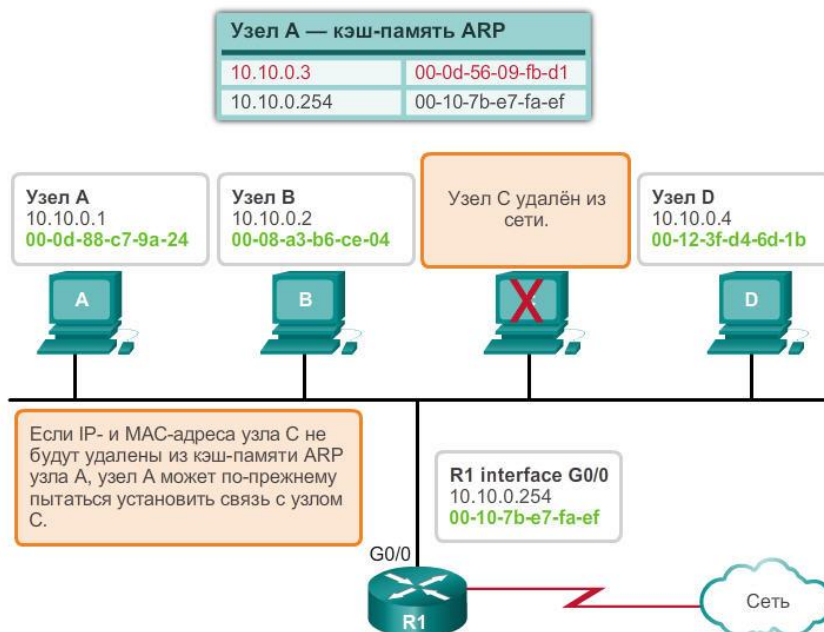
Роль ARP в процессе удалённого обмена данными

- Если IPv4-узел назначения размещён в локальной сети, кадр использует MAC-адрес этого устройства в качестве MAC-адреса назначения.
- Если IPv4-узел назначения находится за пределами локальной сети, источник использует ARP-процесс для определения MAC-адреса интерфейса маршрутизатора, выступающего в качестве шлюза.
- В случае если запись о шлюзе не добавлена в таблицу, для получения MAC-адреса, связанного с IP-адресом интерфейса маршрутизатора, используется ARP-запрос.

Удаление записей из таблицы ARP

- Таймер кэша ARP удаляет записи ARP, которые не использовались в течение заданного периода.
- Можно также использовать команды, чтобы вручную удалить из таблицы ARP все или некоторые записи.

Удаление сопоставлений адресов «из MAC в IP»



Таблицы ARP на сетевых устройствах

```
Router#show ip arp
```

Protocol	Address	Age (min)	Hardware Addr	Type	Interface
Internet	172.16.233.229	-	0000.0c59.f892	ARPA	Ethernet0/0
Internet	172.16.233.218	-	0000.0c07.ac00	ARPA	Ethernet0/0
Internet	172.16.168.11	-	0000.0c63.1300	ARPA	Ethernet0/0
Internet	172.16.168.254	9	0000.0c36.6965	ARPA	Ethernet0/0

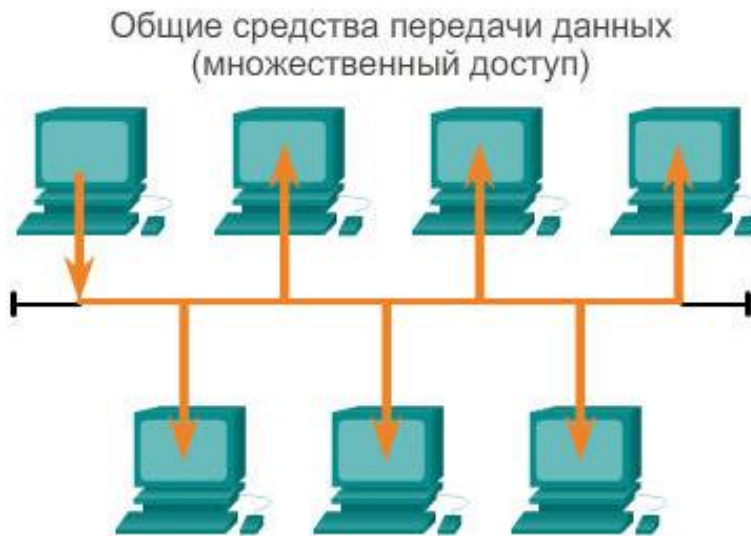
```
C:\>arp -a
```

```
Interface: 192.168.1.67 --- 0xa
```

Internet Address	Physical Address	Type
192.168.1.254	64-0f-29-0d-36-91	dynamic
192.168.1.255	ff-ff-ff-ff-ff-ff	static
224.0.0.22	01-00-5e-00-00-16	static
224.0.0.251	01-00-5e-00-00-fb	static
224.0.0.252	01-00-5e-00-00-fc	static
255.255.255.255	ff-ff-ff-ff-ff-ff	static

Проблемы, которые может вызывать использование ARP

Широковещательные рассылки ARP могут заполнить локальную среду передачи данных.



Проблемы ARP:

- Широковещательные рассылки в среде передачи данных
- Безопасность

Проблемы, связанные с ARP

Минимизация проблем, связанных с ARP

Сегментация

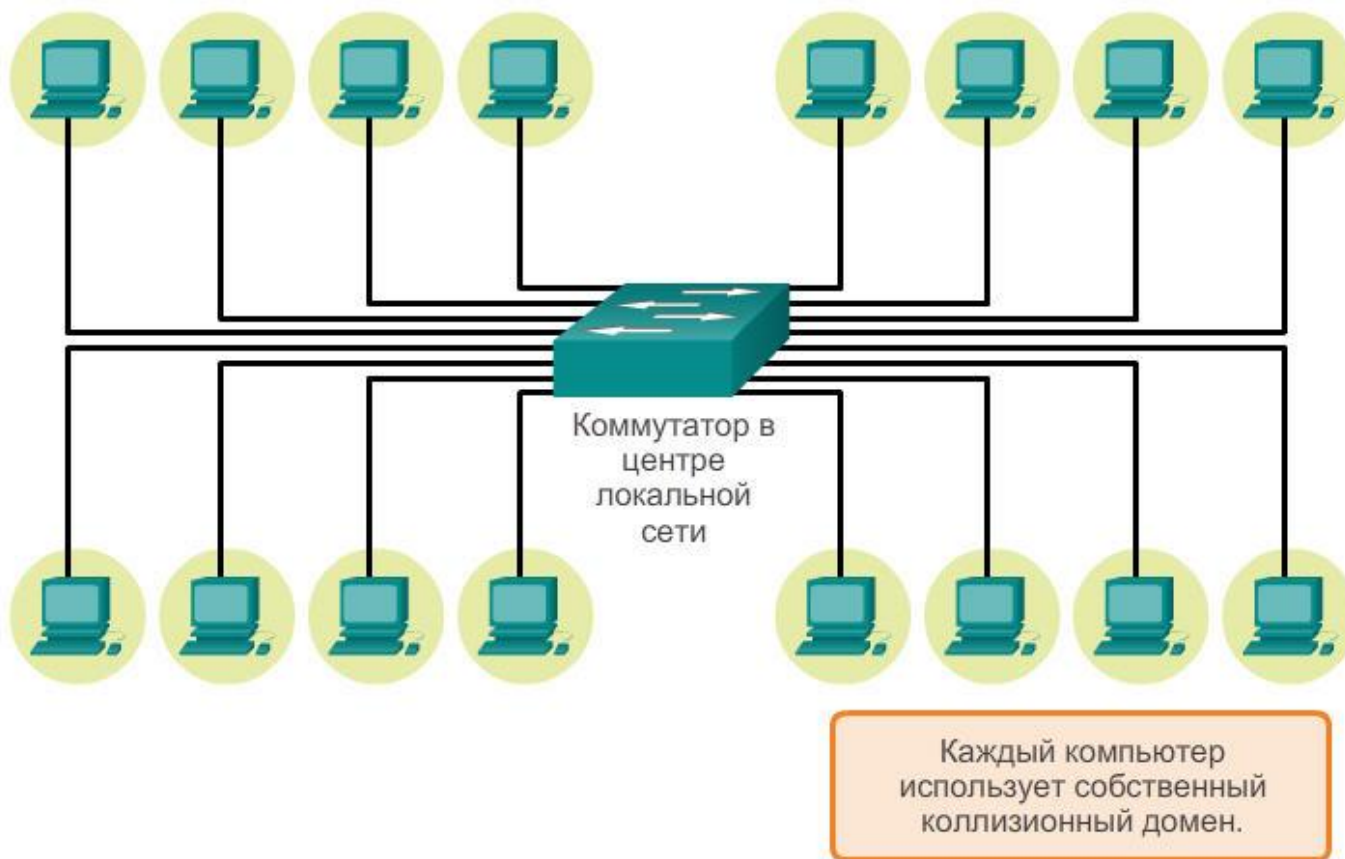
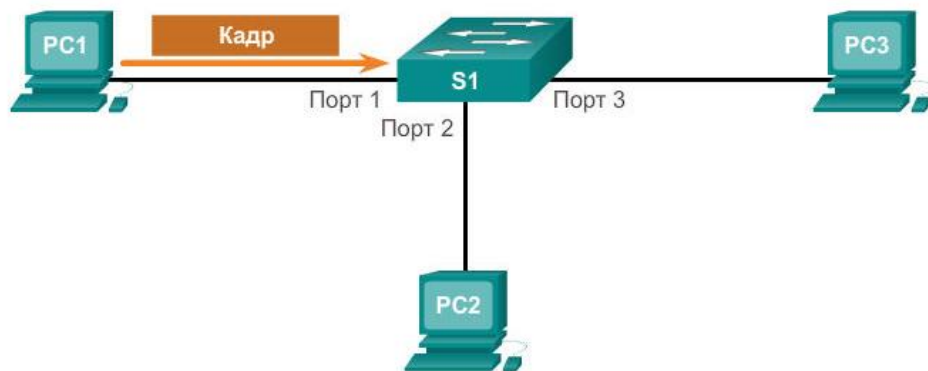


Таблица MAC-адресов коммутатора



1. Коммутатор получает кадр широковещательной рассылки, отправленный с ПК 1 на порт 1.
2. Коммутатор вводит в таблицу адресов MAC-адрес источника и номер порта, который принял кадр.
3. Поскольку адрес назначения широковещательный, коммутатор рассылает кадр по всем портам, кроме порта, по которому он был получен.

4. Устройство-адресат в качестве отклика на широковещательную рассылку отправляет кадр индивидуальной рассылки на ПК 1.
5. Коммутатор вводит в таблицу адресов полученные кадром исходный MAC-адрес ПК2 и номер порта коммутатора. Адрес назначения кадра и соответствующий порт находятся в таблице MAC-адресов.
6. Теперь коммутатор может пересылать кадры между устройствами источника и назначения без лавинной рассылки, потому что у него есть записи в таблице MAC-адресов, которые идентифицируют соответствующие порты.



Сетевой уровень



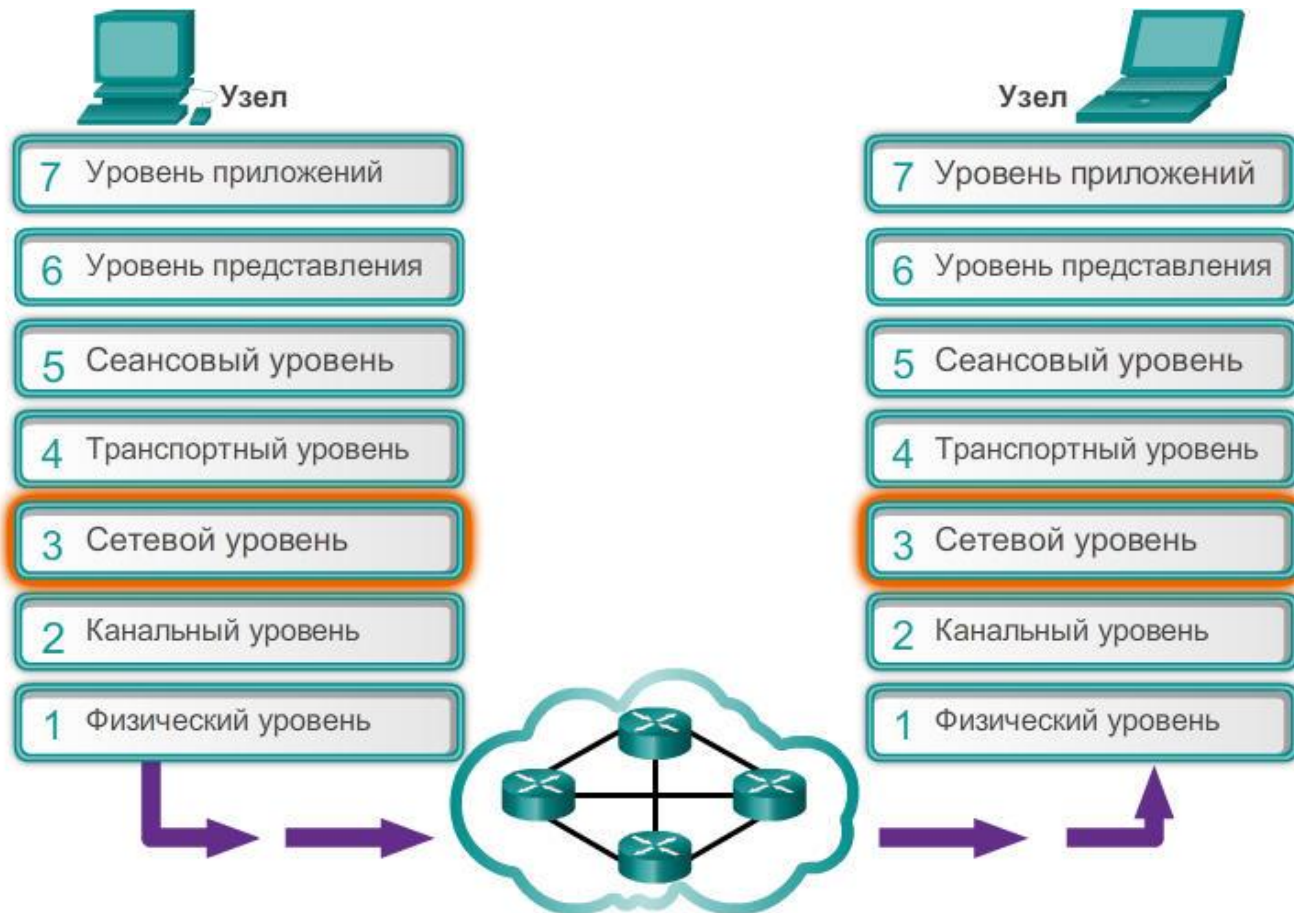
Введение в сетевые технологии

Сетевой уровень



Протоколы сетевого уровня модели OSI определяют адресацию и процессы, которые позволяют упаковывать и передавать данные транспортного уровня. Инкапсуляция сетевого уровня обеспечивает прохождение данных по сети к адресату (или другой сети) с минимальной нагрузкой.

Сетевой уровень в процессе обмена данными



Протоколы сетевого уровня пересылают между узлами модули PDU транспортного уровня.



Сетевой уровень в процессе обмена данными

Сетевой уровень

Сетевой уровень использует четыре основных процесса:

- **Адресация конечных устройств.** Конечным устройствам необходимо назначить уникальный IP-адрес для возможности идентификации в сети. Конечное устройство с настроенным IP-адресом называется **узлом**.
- **Инкапсуляция.** Во время выполнения инкапсуляции сетевой уровень добавляет информацию заголовка IP, например, IP-адрес узла источника и узла назначения. После добавления в блок PDU информации заголовка такой блок будет называться **пакетом**.
- **Маршрутизация.** Для перемещения к другим сетям пакет должен быть обработан маршрутизатором. Роль маршрутизатора заключается в том, чтобы **выбрать пути для пакетов** и направить их к узлу назначения. Такой процесс называется маршрутизацией.
- **Декапсуляция.** По прибытии пакета на сетевой уровень узла назначения этот узел проверяет IP-заголовок пакета. Если IP-адрес назначения в заголовке совпадает с его собственным IP-адресом, **заголовок IP удаляется из пакета**. Процесс удаления заголовков из нижних уровней называется декапсуляцией.



Сетевой уровень в процессе обмена данными

Протоколы сетевого уровня

Типичные протоколы сетевого уровня

IPv4

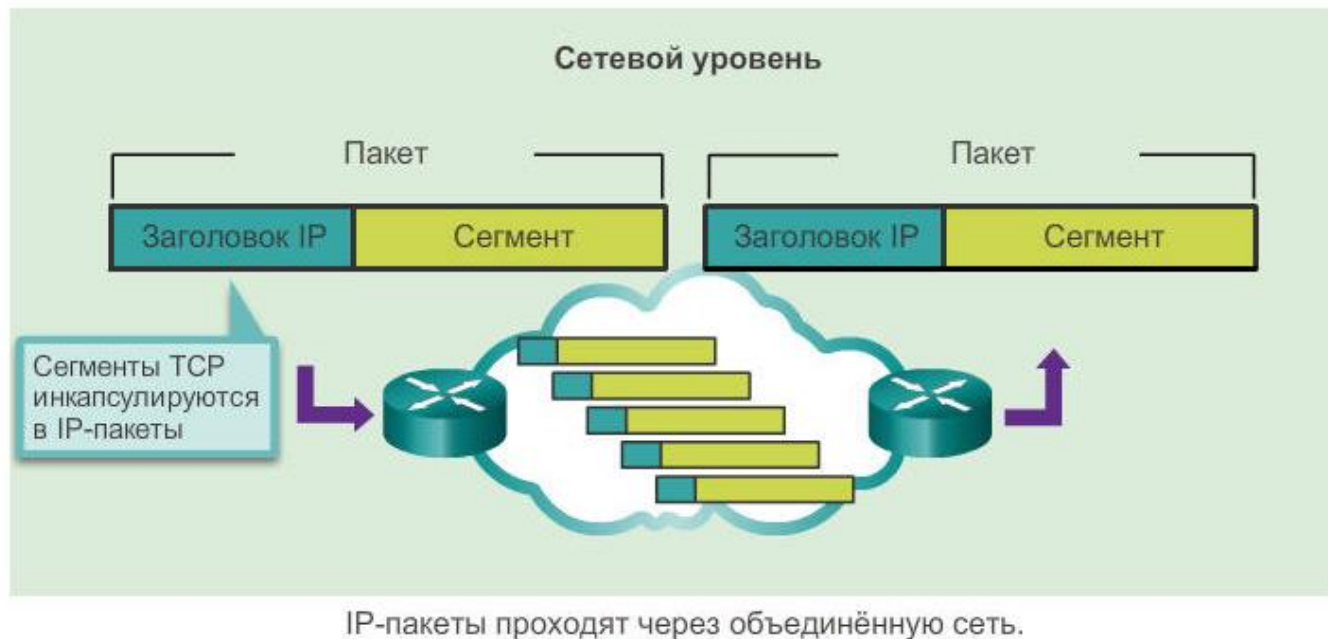
- IP-протокол версии 4

IPv6

- IP-протокол версии 6

Характеристики протокола IP

Характеристики IP-сети



К основным характеристикам IP относятся следующие:

Без установления соединения: перед отправкой пакетов данных соединение с узлом назначения не устанавливается.

Доставка с максимальными усилиями (ненадёжная): доставка пакетов не гарантируется.

Независимость от среды: функционирует независимо от среды, в которой передаются данные.

IP-сеть: без установления соединения

Обмен данными без установления соединения



Письмо отправлено.

Отправитель не знает:

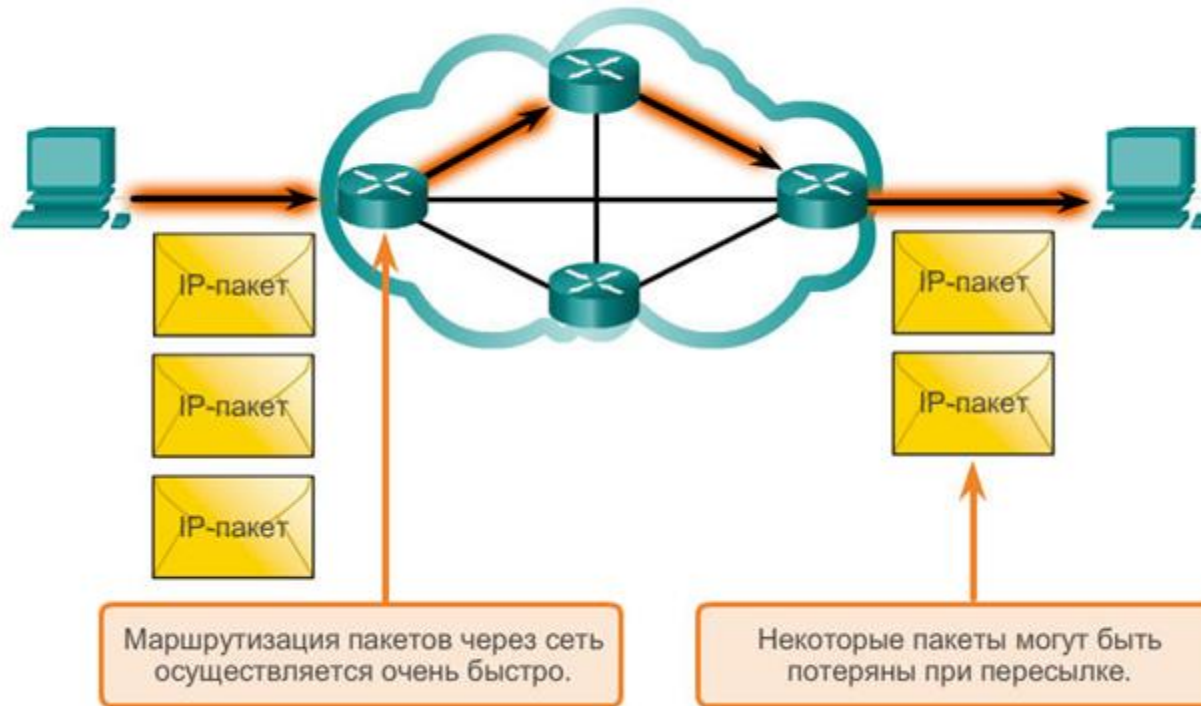
- присутствует ли получатель на месте;
- доставлено ли письмо;
- прочитает ли его получатель.

Получатель не знает:

- когда ждать письма.

IP-сеть: попытка доставки без гарантированного результата

Оптимальный способ

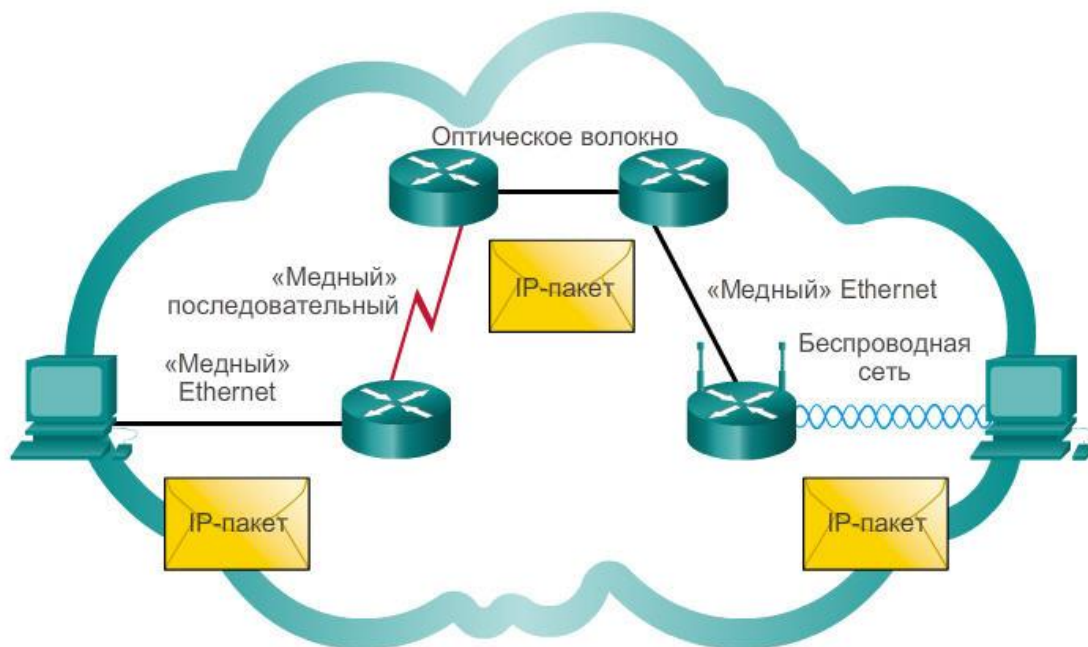


Являясь ненадежным протоколом сетевого уровня, протокол IP **не гарантирует**, что все отправленные пакеты будут получены

Характеристики протокола IP

IP-сеть: независимость от среды

Отсутствие зависимости от среды



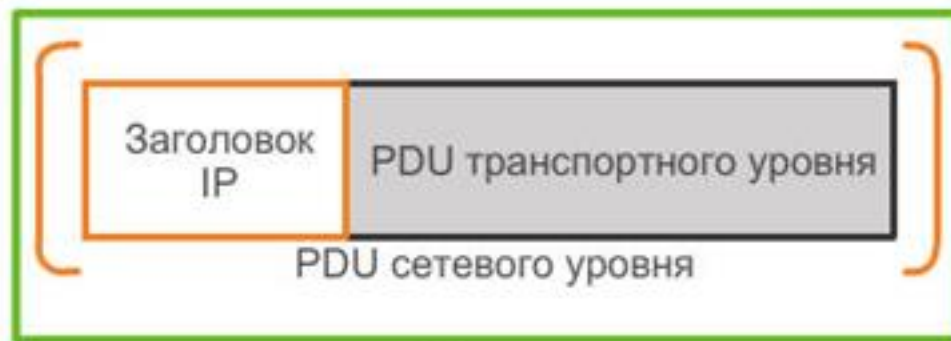
IP-пакеты могут проходить по разным средам передачи данных.

Инкапсуляция в IP-сети

Инкапсуляция транспортного уровня



Инкапсуляция сетевого уровня



IP-пакет

Транспортный уровень добавляет заголовок, благодаря которому пакеты могут направляться через комплексные сети и достигать места назначения. В сетях на основе TCP/IP модуль PDU сетевого уровня является IP-пакетом.

Пакет IPv4

Заголовок пакета IPv4

Байт 1		Байт 2		Байт 3	Байт 4
Версия (4 бита) IPv4=0100 IPv6=0110	Длина заголовка (4 бита) Min =5 (20 байт) Max=15 (60 байт)	Дифференцированные услуги (DS) (8 бит) Приоритет пакета		Общая длина (16 бит) Размер всего пакета (фрагмента) Min =20 байт заголовок + 0 байт данных Max= 65 535 байт	
		DSCP (6 бит) Приоритет по QoS	ECN (2 бита) Флаг перегрузки		
Идентификация (16 бит) Идентификатор фрагмента пакета				Флаг (3 бита) Способ фрагментации	Смещение фрагмента (13 бит) Порядок, в котором необходимо расположить фрагменты при восстановлении)
Время существования (TTL) (8 бит) Время жизни пакета в сек. или переходах		Протокол (8 бит) Тип передаваемых данных: ICMP (1), TCP (6), UDP (17)		Контрольная сумма заголовка (16 бит) Проверка ошибок в заголовке IP	
IP-адрес источника пакета (32 бита)					
IP-адрес назначения пакета (32 бита)					
Параметры (дополнительно)					Заполнитель

20 байт

Пакет IPv4 состоит из двух частей:

- **заголовок IP**: определяет характеристики пакета;
- **полезная нагрузка**: содержит информацию сегмента уровня 4 и фактические данные.

Поля «Длина заголовка», «Общая длина» и «Контр. сумма заголовка» используются для определения и проверки пакета. Поля «Идентификация», «Флаг» и «Смещение фрагмента» используются для переупорядочивания фрагментированного пакета.

Маршрутизатору может понадобиться выполнить фрагментацию пакета при его пересылке из одной среды передачи данных в другую среду с меньшим максимальным размером пакета.



Сетевой уровень в процессе обмена данными

Ограничения IPv4

- **Истощение IP-адресов.** IPv4 может предложить лишь ограниченное количество уникальных общедоступных IP-адресов. Несмотря на то, что существует примерно 4 миллиарда IPv4-адресов, возросшее число новых устройств, в которых используется протокол IP, а также потенциальный рост менее развитых регионов привели к необходимости дополнительно увеличить количество адресов.
- **Расширение таблицы маршрутизации в Интернете.** Таблица маршрутизации используется маршрутизаторами для определения оптимальных путей пересылки данных. По мере увеличения количества серверов (узлов), подключённых к Интернету, также растет число сетевых маршрутов. Эти маршруты IPv4 потребляют значительное количество памяти и ресурсов процессоров интернет-маршрутизаторов.
- **Отсутствие сквозного соединения.** Преобразование сетевых адресов (NAT) представляет собой технологию, которая обычно применяется в сетях IPv4. NAT позволяет различным устройствам совместно использовать один публичный IP-адрес. При этом, поскольку публичный IP-адрес используется совместно, IP-адрес узла внутренней сети скрыт. Это может представлять проблему при использовании технологий, для которых необходимы сквозные подключения.



Сетевой уровень в процессе обмена данными

Краткое описание IPv6

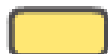
- **Увеличенное пространство адресов.** IPv6-адреса используют 128-битную иерархическую адресацию. Это существенно увеличивает количество доступных IP-адресов.
- **Улучшенная обработка пакетов.** Структура заголовка IPv6 была упрощена благодаря уменьшению количества полей. Это повышает обработку пакетов промежуточными маршрутизаторами, а также предоставляет поддержку расширений и дополнительных параметров, обеспечивая повышенную масштабируемость и долговечность.
- **Отсутствие необходимости в использовании NAT.** Благодаря большому количеству общедоступных IPv6-адресов трансляция сетевых адресов (NAT) не требуется. Клиентские узлы, от самых крупных предприятий до жилых домов, могут получить общедоступный сетевой IPv6-адрес. Это позволяет устранить некоторые проблемы, связанные с преобразованием сетевых адресов, которые возникают при работе приложений, требующих наличия сквозного подключения.
- **Встроенная система безопасности.** Протокол IPv6 изначально обладает средствами для аутентификации и обеспечения конфиденциальности.

Сетевой уровень в процессе обмена данными

Краткое описание IPv6

Имя числа	Научное представление	Количество нулей
1 тысяча	10^3	1,000
1 миллион	10^6	1,000,000
1 миллиард	10^9	1,000,000,000
1 триллион	10^{12}	1,000,000,000,000
1 квадриллион	10^{15}	1,000,000,000,000,000
1 квинтиллион	10^{18}	1,000,000,000,000,000,000
1 секстиллион	10^{21}	1,000,000,000,000,000,000,000
1 септиллион	10^{24}	1,000,000,000,000,000,000,000,000
1 октиллион	10^{27}	1,000,000,000,000,000,000,000,000,000
1 нониллион	10^{30}	1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
1 дециллион	10^{33}	1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
1 ундециллион	10^{36}	1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000

Условные обозначения



Существует 4 миллиарда адресов IPv4



Существует 340 ундециллионов адресов IPv6

Пакет IPv6

Инкапсуляция IPv6

Заголовок IPv4

Байт 1		Байт 2		Байт 3	Байт 4
Версия (4 бита) IPv4=0100	Длина заголовка (4 бита) Min =5 (20 байт) Max=15 (60 байт)	Дифференцированные услуги (DS) (8 бит) Приоритет пакета		Общая длина (16 бит) Размер всего пакета (фрагмента) Min =20 байт заголовок + 0 байт данных Max= 65 535 байт	
		DSCP (6 бит) Приоритет по QoS	ECN (2 бита) Флаг перегрузки		
Идентификация (16 бит) Идентификатор фрагмента пакета				Флаг (3 бита) Способ фрагментации	Смещение фрагмента (13 бит) Порядок, в котором необходимо расположить фрагменты при восстановлении)
Время существования (TTL) (8 бит) Время жизни пакета		Протокол (8 бит) Тип передаваемых данных: ICMP (1), TCP (6), UDP (17)		Контрольная сумма заголовка (16 бит) Проверка ошибок в заголовке IP	
IP-адрес источника пакета (32 бита)					
IP-адрес назначенияпакета (32 бита)					
Параметры (дополнительно)					Заполнитель

Условные обозначения:

- сохраненные из IPv4 в IPv6 имена полей
- измененные в IPv6 имя и позиция
- не сохраненные в IPv6

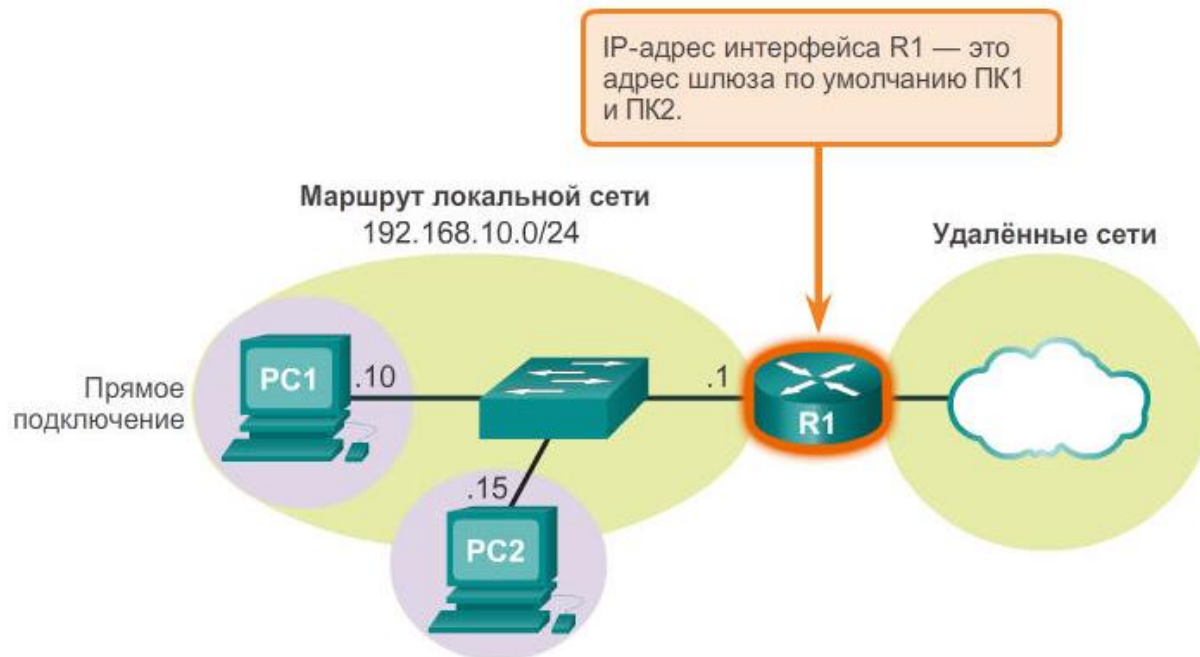
Заголовок IPv6

Байт 1	Байт 2	Байт 3	Байт 4
Версия (4 бита) IPv6=0110	Класс трафика (8 бит) =	Метка потока (20 бит) Маршрутизаторам и коммутаторам передается информация о необходимости поддерживать один и тот же путь для потока пакетов, что поможет избежать их переупорядочивания	
	Дифференцированные услуги (DS) в IPv4		
Длина полезной нагрузки (16 бит) = Общая длина в IPv4		Следующий заголовок (8 бит) = Протокол в IPv4	Предел перехода (8 бит) = Время существования в IPv4
IP-адрес источника пакета (32 бита)			
IP-адрес назначения пакета (32 бита)			

Условные обозначения:

- сохраненные из IPv4 в IPv6 имена полей
- измененные в IPv6 имя и позиция
- новое поле в IPv6

Решение о перенаправлении пакета узла



Узел может отправить пакет на следующие адреса:

Самому себе: специальный IP-адрес, который представлен как 127.0.0.1 и называется интерфейсом loopback. Этот loopback-адрес автоматически назначается узлу при запуске TCP/IP. Возможность узла отправлять пакет самому себе, используя сетевые функции, полезна для тестирования. Любой IP-адрес в пределах сети 127.0.0.0/8 относится к локальному узлу.

Локальный узел: узел в той же сети, в которой также находится отправляющий узел. Узлы используют один и тот же сетевой адрес.

Удалённый узел: узел в удалённой сети. Узлы не используют один и тот же сетевой адрес.



Таблицы маршрутизации узлов

Шлюз по умолчанию

Маршрутизация — это процесс определения наилучшего пути к узлу назначения. Маршрутизатор, подключённый к сегменту локальной сети, называется **шлюзом по умолчанию**.

На узлах должна храниться их собственная локальная таблица маршрутизации, чтобы пакеты сетевого уровня гарантированно направлялись в нужную сеть назначения. Как правило, локальная таблица узла содержит следующие данные:

- **прямое подключение** - маршрут к интерфейсу loopback (127.0.0.1)
- **маршрут локальной сети** - информация о сети, к которой подключён узел, автоматически добавляется в таблицу маршрутизации узла
- **локальный маршрут по умолчанию** - это маршрут, который должны пройти пакеты, чтобы достичь всех удалённых сетевых адресов

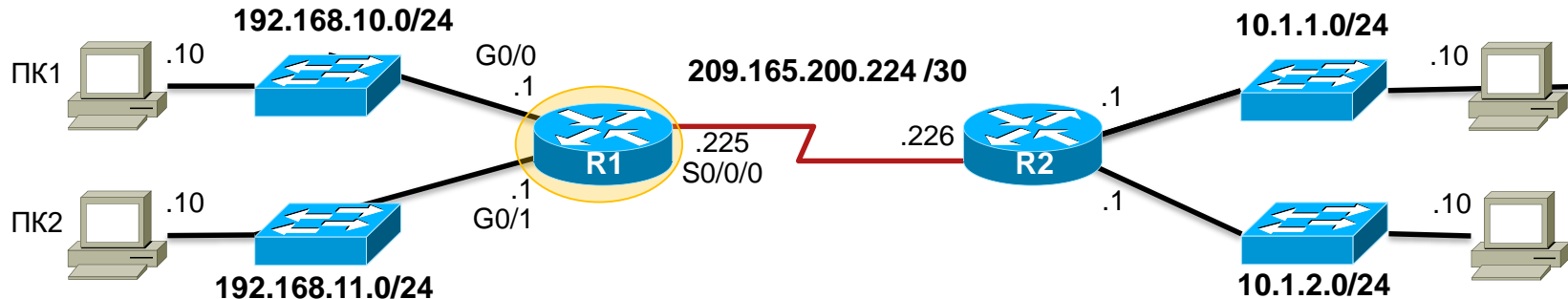
Решение о перенаправлении пакета маршрутизатора



R1 напрямую подключён к сетям 192.168.10.0/24, 192.168.11.0/24 и 209.165.200.224/30. R1 также имеет две удалённые сети, данные о которых он может получить от R2: 10.1.1.0/24 и 10.1.2.0/24.

Таблицы маршрутизации маршрутизатора

Таблица маршрутизации маршрутизатора IPv4



R1#show ip route

Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
 D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
 N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
 E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
 i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
 * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
 P - periodic downloaded static route

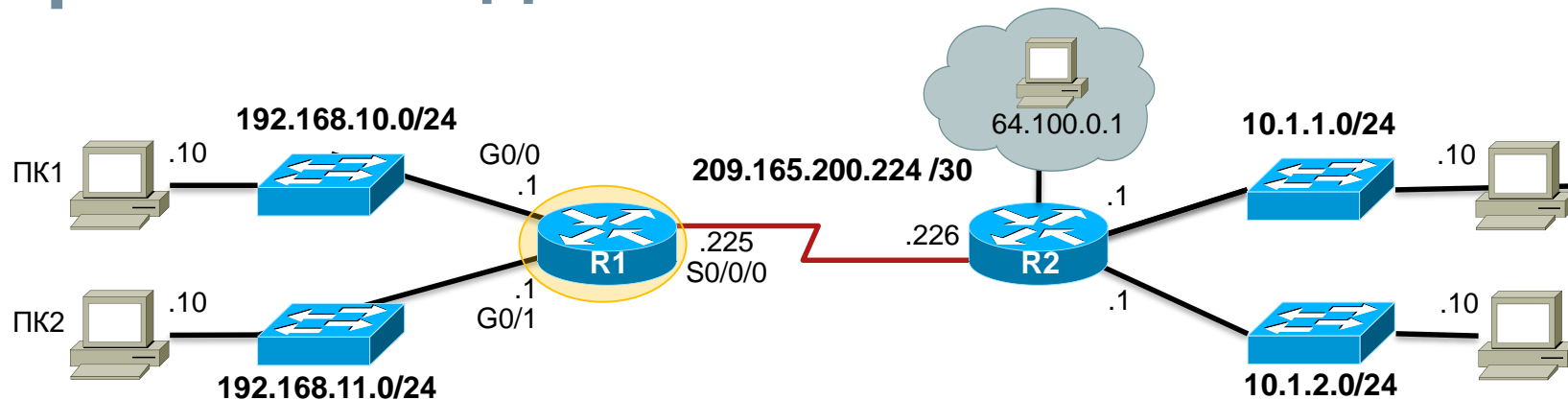
Gateway of last resort is not set

```

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
D    10.1.1.0/24 [90/2170112] via 209.165.200.226, 00:00:05, Serial0/0/0
D    10.1.2.0/24 [90/2170112] via 209.165.200.226, 00:00:05, Serial0/0/0
192.168.10.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C    192.168.10.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L    192.168.10.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
192.168.11.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C    192.168.11.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L    192.168.11.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
209.165.200.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C    209.165.200.224/30 is directly connected, Serial0/0/0
L    209.165.200.225/32 is directly connected, Serial0/0/0
R1#
    
```

Таблицы маршрутизации маршрутизатора

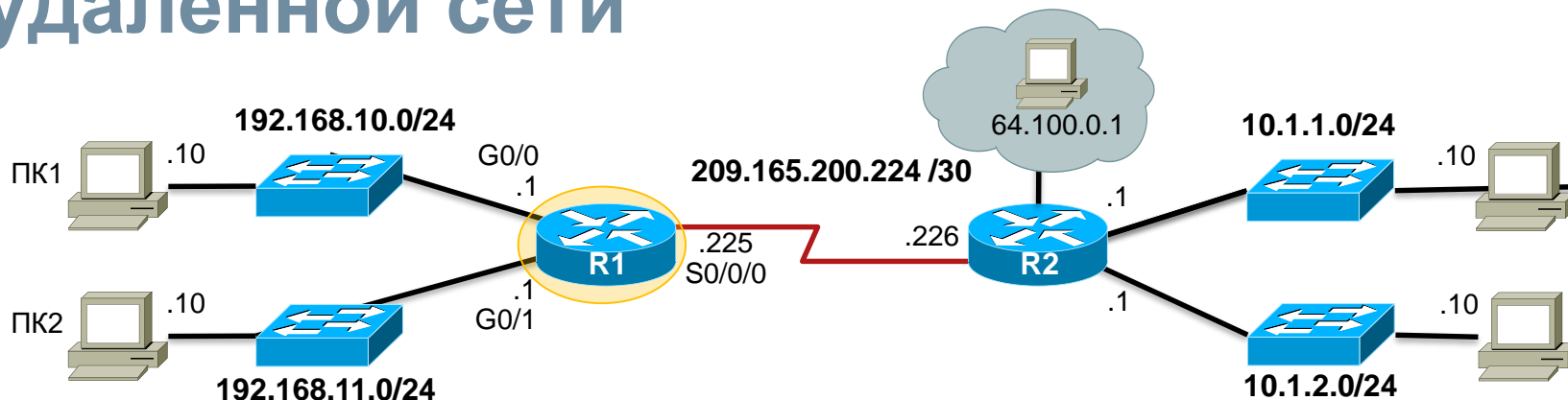
Записи таблицы маршрутизации для прямых соединений

**A****B****C**

C	L	192.168.10.0/24 is directly connected, 192.168.10.1/32 is directly connected,	GigabitEthernet0/0 GigabitEthernet0/0
----------	----------	--	--

A	Определяет, каким образом маршрутизатор узнал об этой сети.
B	Определяет сеть назначения и способ подключения к ней.
C	Определяет интерфейс на маршрутизаторе, подключённом к сети назначения.

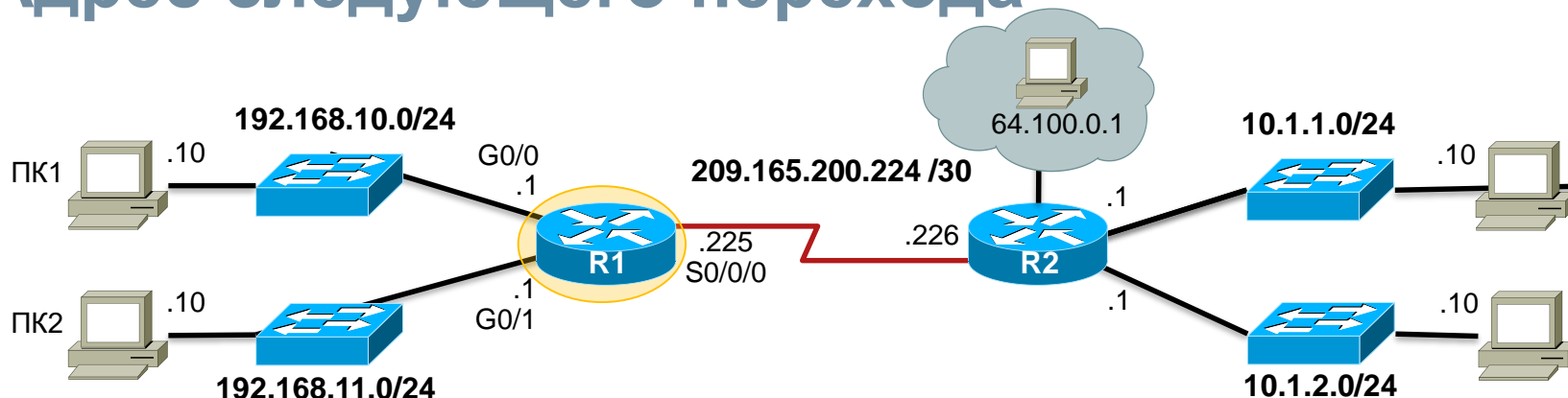
Записи таблицы маршрутизации удалённой сети



D	10.1.1.0/24	[90/2170112]	via	209.165.200.226,	00:00:05,	Serial0/0/0
----------	--------------------	---------------------	------------	-------------------------	------------------	--------------------

A	Определяет, каким образом маршрутизатор узнал об этой сети.
B	Определяет сеть назначения.
C	Определяет административное расстояние (достоверность) источника маршрута.
D	Определяет метрику для доступа к удалённой сети.
E	Определяет IP-адрес следующего перехода для доступа к удалённой сети.
F	Определяет время с момента обнаружения сети.
G	Определяет интерфейс исходящей передачи данных на маршрутизаторе для доступа к сети назначения.

Адрес следующего перехода



R1#show ip route

Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
 D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
 N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
 E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
 i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
 * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
 P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

```

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
D    10.1.1.0/24 [90/2170112] via 209.165.200.226, 00:00:05, Serial0/0/0
D    10.1.2.0/24 [90/2170112] via 209.165.200.226, 00:00:05, Serial0/0/0
192.168.10.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C    192.168.10.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L    192.168.10.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
192.168.11.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C    192.168.11.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L    192.168.11.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
209.165.200.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C    209.165.200.224/30 is directly connected, Serial0/0/0
L    209.165.200.225/32 is directly connected, Serial0/0/0
    
```

R1#

Типы статических маршрутов. Параметры следующего перехода

- Стандартный статический маршрут
- Статический маршрут по умолчанию
- Плавающий статический маршрут
- Суммарный статический маршрут

При настройке статического маршрута **следующий переход** может быть идентифицирован по **IP-адресу, интерфейсу выхода** или использовать **оба варианта**. В зависимости от того, как указан адрес назначения, создается один из трех следующих типов маршрута:

- **Маршрут следующего перехода** - Указывается только IP-адрес следующего перехода.
- **Напрямую подключенный статический маршрут.** - Указывается только интерфейс выхода маршрутизатора.
- **Полностью заданный статический маршрут.** - Определены IP-адрес и интерфейс выхода следующего перехода.

Команда статического маршрута IPv4

Настройка статических маршрутов IPv4 выполняется с помощью команды **ip route**:

```
Router(config)# ip route network-address subnet-mask { ip-address | exit-intf [ip-address] }  
[distance]
```

Примечание . Необходимо настроить параметры *ip-адреса*, *exit-intf* или *ip-адреса* и *exit-intf* .

Статический маршрут следующего перехода

В статическом маршруте следующего перехода указывается только IP-адрес следующего перехода. Выходной интерфейс определяется исходя из следующего транзитного участка.

Например, на маршрутизаторе R1 настроено три статических маршрута следующего перехода с помощью IP-адреса следующего перехода маршрутизатора R2 - 172.16.2.2.

```
R1 (config) # ip route 172.16.1.0 255.255.255.0 172.16.2.2
R1 (config) # ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 172.16.2.2
R1 (config) # ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 172.16.2.2
```

Результирующие записи таблицы маршрутизации на R1:

```
R1# show ip route | begin Gateway
Gateway of last resort is not set
    172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
S       172.16.1.0/24 [1/0] via 172.16.2.2
C       172.16.2.0/24 is directly connected, Serial0/1/0
L       172.16.2.1/32 is directly connected, Serial0/1/0
C       172.16.3.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0/0
L       172.16.3.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0/0
S       192.168.1.0/24 [1/0] via 172.16.2.2
S       192.168.2.0/24 [1/0] via 172.16.2.2
```

Напрямую подключенный статический маршрут

При настройке статического маршрута также можно использовать выходной интерфейс для настройки адреса следующего перехода. Три напрямую подключенных статических маршрута настроены на маршрутизаторе R1 с использованием выходного интерфейса.

Примечание. Обычно рекомендуется использовать адрес следующего перехода. Непосредственно подключенные статические маршруты следует использовать только с последовательными интерфейсами «точка-точка».

```
R1(config)# ip route 172.16.1.0 255.255.255.0 s0/1/0
R1(config)# ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 s0/1/0
R1(config)# ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 s0/1/0
```

```
R1# show ip route | begin Gateway
Gateway of last resort is not set
    172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
S       172.16.1.0/24 [1/0] via 172.16.2.2
C       172.16.2.0/24 is directly connected, Serial0/1/0
L       172.16.2.1/32 is directly connected, Serial0/1/0
C       172.16.3.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0/0
L       172.16.3.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0/0
S       192.168.1.0/24 [1/0] via 172.16.2.2
S       192.168.2.0/24 [1/0] via 172.16.2.2
```

Полностью заданный статический маршрут

В полностью заданном статическом маршруте указываются как выходной интерфейс, так и IP-адрес следующего перехода. Такой статический маршрут используется в случаях, когда выходной интерфейс представляет собой интерфейс множественного доступа и необходимо явно определить следующий переход. Следующий переход должен быть напрямую подключен к указанному выходному интерфейсу. Если выходной интерфейс является сетью Ethernet, рекомендуется использовать полностью заданный статический маршрут, включая как выходной интерфейс, так и IP-адрес следующего перехода.

```
R1(config)# ip route 172.16.1.0 255.255.255.0 GigabitEthernet 0/0/1 172.16.2.2
R1(config)# ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 GigabitEthernet 0/0/1 172.16.2.2
R1(config)# ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 GigabitEthernet 0/0/1 172.16.2.2
```

```
R1# show ip route | begin Gateway
Gateway of last resort is not set
    172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
S       172.16.1.0/24 [1/0] via 172.16.2.2, GigabitEthernet0/0/1
C       172.16.2.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0/1
L       172.16.2.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0/1
C       172.16.3.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0/0
L       172.16.3.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0/0
S       192.168.1.0/24 [1/0] via 172.16.2.2, GigabitEthernet0/0/1
S       192.168.2.0/24 [1/0] via 172.16.2.2, GigabitEthernet0/0/1
```


Проверка статического маршрута

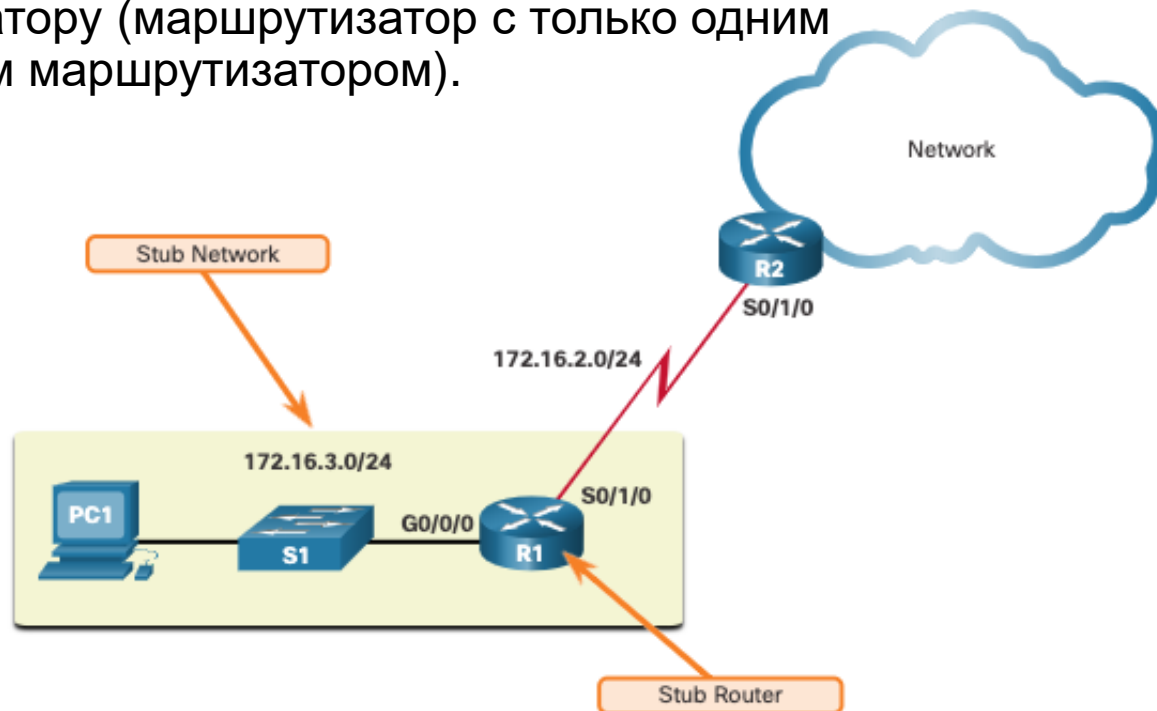
Наряду с командами **show ip route**, **show ipv6 route**, **ping** и **tracert**, для проверки статических маршрутов также используются следующие команды:

- **show ip route static**
- **show ip route *network***
- **show running-config | section ip route**

Замените **ip** на **ipv6** для версий команды IPv6.

Статический маршрут по умолчанию

- Статический маршрут по умолчанию — это маршрут, которому соответствуют все пакеты. В таблице маршрутизации отсутствует единый маршрут по умолчанию, представляющий путь к какой-либо сети
- Маршрутизаторы обычно используют маршруты по умолчанию, настроенные локально или полученные от другого маршрутизатора. Маршрут по умолчанию иногда называют «шлюзом последней надежды».
- Статические маршруты по умолчанию обычно используются при подключении пограничного маршрутизатора к сети поставщика услуг или тупиковому маршрутизатору (маршрутизатор с только одним вышестоящим соседним маршрутизатором).



Статический маршрут по умолчанию

Статический IPv4 маршрут по умолчанию:

Адрес сети указывается как **0.0.0.0**, а маска подсети – **0.0.0.0**. Таким образом 0.0.0.0 0.0.0.0 в маршруте будет соответствовать любому сетевому адресу.

```
Router(config)# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 {ip-address | exit-  
intf}
```

Пример: R1(config)# **ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 172.16.2.2** – все пакеты, не соответствующие записям более точного маршрута на R2, пересылаются на адрес 172.16.2.2

Статический IPv6 маршрут по умолчанию:

ipv6-prefix/prefix-length = **::/0**, который совпадает со всеми маршрутами.

```
Router(config)# ipv6 route ::/0 {ipv6-address | exit-intf}
```

Пример: R1(config)# **ipv6 route ::/0 2001:db8:acad:2::2** – все пакеты, не соответствующие более конкретным записям маршрута IPv6, пересылаются в R2 на интерфейс с IPv6 2001:db8:acad:2::2

Проверка статического маршрута по умолчанию

В выходных данных команды **show ip route static** отображается содержимое статических маршрутов в таблице маршрутизации.

Звездочка (*) рядом с маршрутом, имеющим код S указывает, что этот статический маршрут является подходящим маршрутом по умолчанию, поэтому он выбран в качестве шлюза последней инстанции.

Обратите внимание, что в статической конфигурации маршрута по умолчанию используется префикс /0 для маршрутов по умолчанию IPv4.

```
R1# show ip route static
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
+ - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is 172.16.2.2 to network 0.0.0.0

S* 0.0.0.0/0 [1/0] via 172.16.2.2
```

Плавающие статические маршруты

- Еще одним типом статического маршрута является плавающий статический маршрут. Плавающие статические маршруты — это статические маршруты, используемые для предоставления резервного пути основному статическому или динамическому маршруту. Плавающий статический маршрут используется только тогда, когда основной маршрут недоступен.
- Для этой цели плавающий статический маршрут настраивается с более высоким значением административного расстояния, чем основной маршрут. Административное расстояние определяет надежность маршрута. При наличии нескольких путей к адресу назначения маршрутизатор выбирает путь с самым низким значением административного расстояния.
- По умолчанию статические маршруты имеют значение административного расстояния, равное 1, поэтому они имеют приоритет перед маршрутами, полученными от протоколов динамической маршрутизации.
- Административную дистанцию статического маршрута можно увеличить и, таким образом, сделать этот маршрут менее приоритетным, чем другой статический маршрут или маршрут, полученный через протокол динамической маршрутизации. Таким образом, статический маршрут «плавает» и не используется в то время, когда маршрут с более коротким административным расстоянием работает.

Настройка плавающих статических маршрутов IPv4

Команды для настройки маршрутов по умолчанию и плавающих IP-маршрутов по умолчанию:

```
R1 (config) # ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 172.16.2.2  
R1 (config) # ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 10.10.10.2 5
```

Выходные данные **show ip route** показывают, что маршруты по умолчанию R1 установлены в таблице маршрутизации.

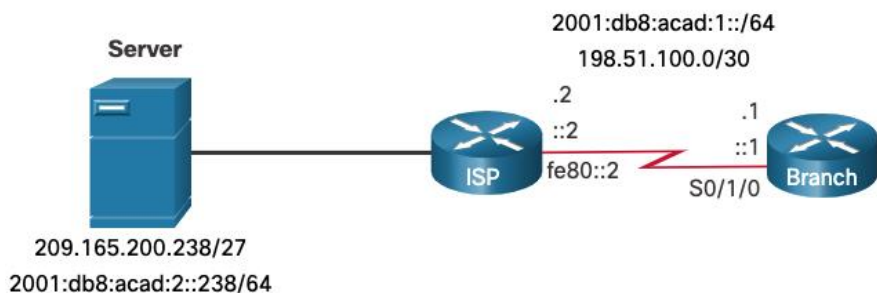
```
R1# show ip route static | begin Gateway  
Gateway of last resort is 172.16.2.2 to network 0.0.0.0  
  
S*   0.0.0.0/0 [1/0] via 172.16.2.2  
R1# show ipv6 route static | begin S :  
S    ::/0 [1/0]  
      via 2001:DB8:ACAD:2::2  
R1#
```

Статические маршруты хостов

Маршрут хоста может быть настроенным вручную статическим маршрутом для направления трафика на определенное целевое устройство, например, сервер.

Статический маршрут использует IP-адрес назначения, а также маску 255.255.255.255 (/32) для маршрутов узлов IPv4 и длину префикса /128 для маршрутов узлов IPv6.

```
Branch(config)# ip route 209.165.200.238 255.255.255.255 198.51.100.2
```



```
Branch# show ip route | begin Gateway
Gateway of last resort is not set
    198.51.100.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       198.51.100.0/30 is directly connected, Serial0/1/0
L       198.51.100.1/32 is directly connected, Serial0/1/0
    209.165.200.0/32 is subnetted, 1 subnets
S       209.165.200.238 [1/0] via 198.51.100.2
Branch# show ipv6 route
(Output omitted)
C    2001:DB8:ACAD:1::/64 [0/0]
    via Serial0/1/0, directly connected
L    2001:DB8:ACAD:1::1/128 [0/0]
    via Serial0/1/0, receive
S    2001:DB8:ACAD:2::238/128 [1/0]
    via 2001:DB8:ACAD:1::2
Branch#
```