

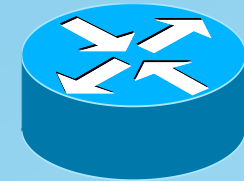
# Маршрутизация

## Статическая маршрутизация

## Адаптивная маршрутизация

## Протокол RIP

# Маршрутизатор



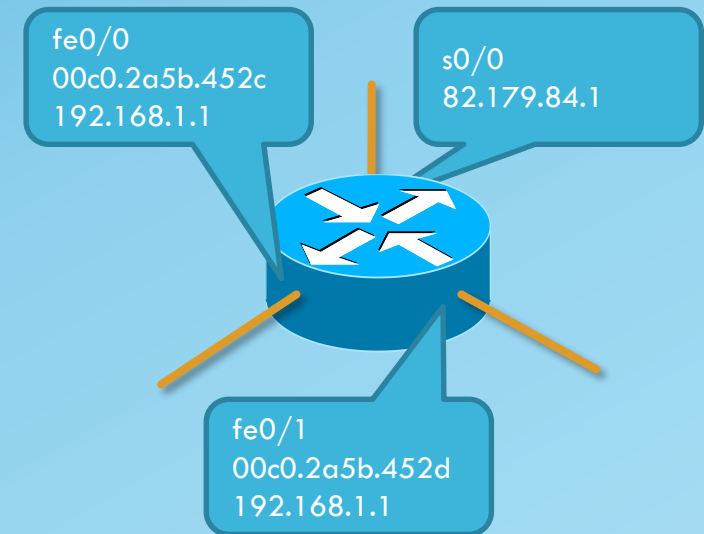
- **Маршрутизатор (router)** – сетевое устройство, предназначенное для объединения сетей (в т.ч. различных) в составные сети
- Маршрутизатор – это компьютер, выполняющий следующие функции:
  - выбор наилучшего маршрута для пакета
  - передача сетевых пакетов между сетями

**ARPANET  
1969**

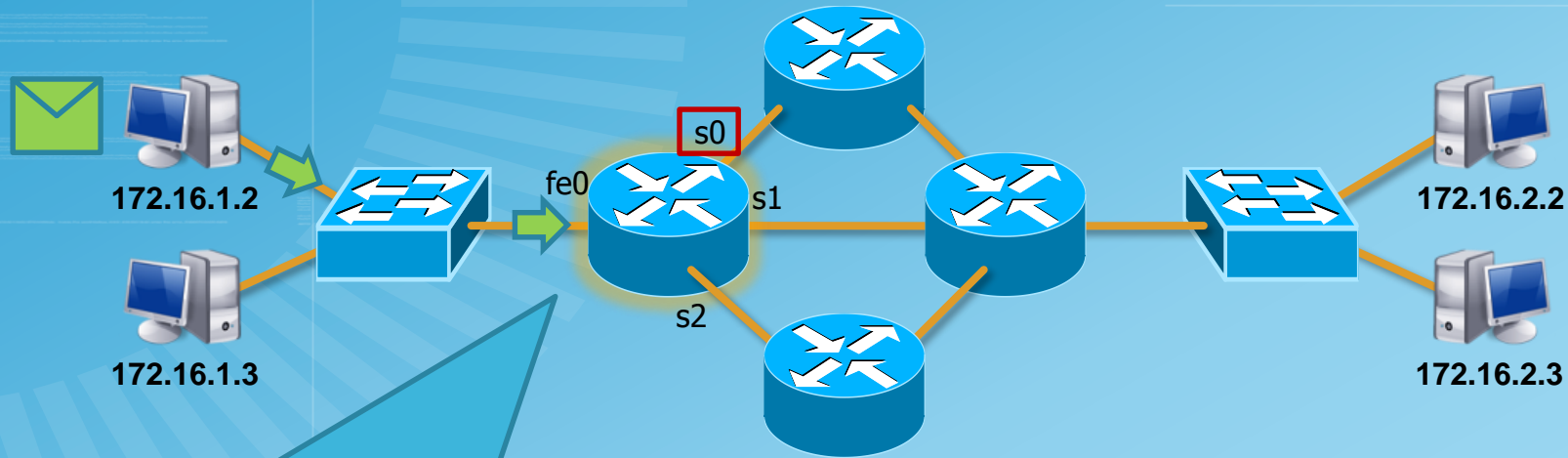
# Интерфейсы маршрутизатора

■ **Интерфейсы** (маршрутизатора) – физические разъёмы, предназначенные для получения и отправки сетевых пакетов

- служат для подключения маршрутизатора к сетям
- должны соответствовать канальным технологиям своих сетей (Fast Ethernet, FDDI, X.25 и т.д.)
- имеют собственные физические (MAC) и логические (IP) адреса



# Работа маршрутизаторов



 → 172.16.2.3

Source	Destination	Metric	via
Connected	172.16.1.0/24	[1]	fe0
Static	172.16.2.0/24	[2]	s0
Connected	192.168.1.0/30	[1]	s0
Connected	192.168.1.4/30	[1]	s1
Connected	192.168.1.8/30	[1]	s2

- Выбор наилучшего маршрута для пакета
- Передача пакета по выбранному маршруту



# Таблица маршрутизации

- Содержит информацию о всех известных узлу (маршрутизатору или компьютеру) сетях
- Обязательные поля:
  - IP-адрес сети назначения
  - направление (собственный интерфейс или IP следующего маршрутизатора – next hop)
- Дополнительные поля:
  - источник записи
  - маска подсети
  - метрика, adm.distance
  - TTL (время жизни) и др.
- Источники записей:
  - **Connected (C)** – непосредственно подключенные сети
  - **Static (S)** – статически добавленные администратором
  - **Dynamic (R – RIP, O – OSPF, D – EIGRP)** – созданные протоколом маршрутизации

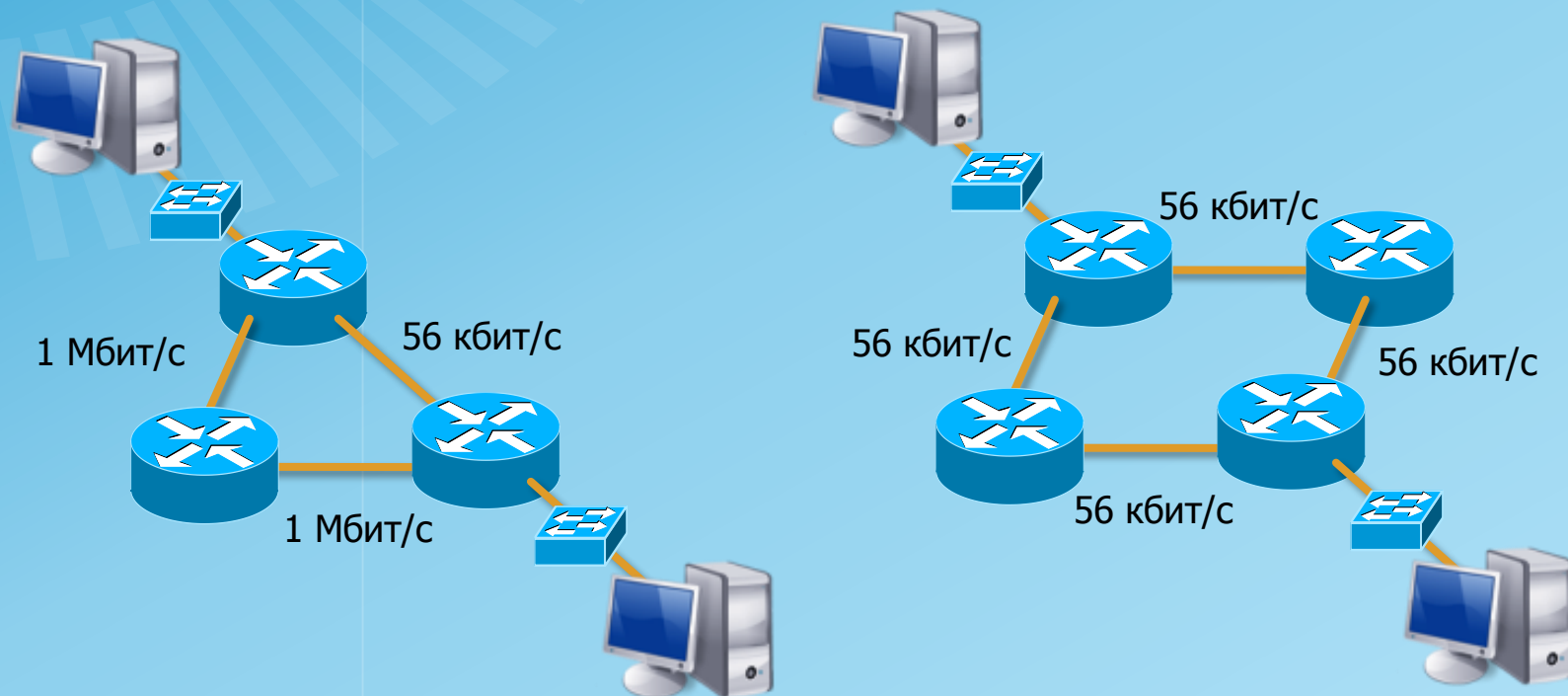
```
C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\ss>route print
=====
Interface List
11...00 1f d0 0c a9 69 .....Realtek RTL8168C(P)/8111C(P) Family PCI-E Gigabit
Ethernet NIC (NDIS 6.20)
1 .....Software Loopback Interface 1
12...00 00 00 00 00 00 e0 Microsoft ISA/IA64 Adapter
=====

IPv4 Route Table
=====
Active Routes:
Network Destination        Netmask          Gateway           Interface        Metric
0.0.0.0                    0.0.0.0          192.168.1.67      192.168.1.13     276
127.0.0.0                  255.0.0.0        On-link           127.0.0.1        306
127.0.0.1                  255.255.255.255  On-link           127.0.0.1        306
127.255.255.255            255.255.255.255  On-link           127.0.0.1        306
192.168.1.0                 255.255.255.0    On-link           192.168.1.13     276
192.168.1.13                255.255.255.255  On-link           192.168.1.13     276
192.168.1.255               255.255.255.255  On-link           192.168.1.13     276
224.0.0.0                   240.0.0.0        On-link           127.0.0.1        306
224.0.0.0                   240.0.0.0        On-link           192.168.1.13     276
255.255.255.255            255.255.255.255  On-link           127.0.0.1        306
255.255.255.255            255.255.255.255  On-link           192.168.1.13     276
=====
```

```
Router#show ip route
<...>
Gateway of last resort is 194.85.37.217 to network 0.0.0.0
 82.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
S       82.179.84.222/32 [1/0] via 195.209.136.34
S       82.179.84.0/27 [1/0] via 195.209.136.34
194.85.37.0/30 is subnetted, 1 subnets
C       194.85.37.216 is directly connected, FastEthernet2/0
S       195.209.137.0/24 is directly connected, Null0
S*      0.0.0.0/0 [1/0] via 194.85.37.217
S       172.16.0.0/12 [1/0] via 195.209.136.34
S       192.168.0.0/16 [1/0] via 195.209.136.34
Router#
```

# Метрика

- **Метрика** (metric) – аддитивная характеристика протяженности маршрута (напр., количество хопов, битовая скорость, задержки) – критерий выбора маршрута

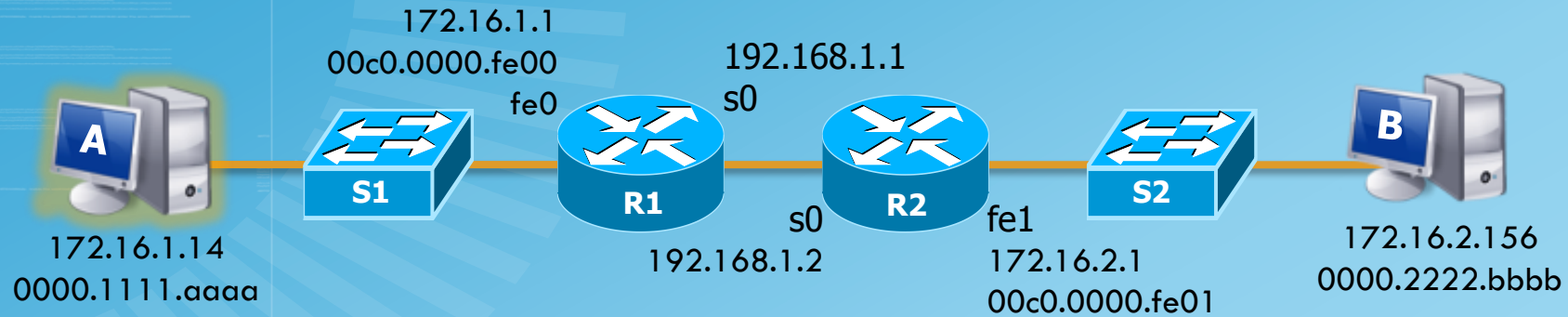


# AD – Administrative Distance

- **Administrative Distance (AD)** – дополнительный субъективный критерий выбора маршрута, показывающий релевантность (надежность) источника маршрута. Используется для сравнения маршрутов, полученных из разных источников (т.к. их невозможно сравнивать по метрике).
- AD – настраиваемая величина, независимо на каждом роутере.
- Примеры значений AD по умолчанию для некоторых источников см. в таблице.

Источник маршрута	AD
Directly connected interface	0
Static route	1
EIGRP Summary	5
External BGP	20
Internal EIGRP	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP v1 /v2	120
External EIGRP	170
Internal BGP	200
Unknown and unused	255

# Жизненный цикл пакета (1)



- 1) у меня готов пакет для ПК **B**
- 2) ПК **B** в другой сети, отправляю **R1**
- 3) Какой MAC-адрес у **R1**? Ищу в таблице, если нет – ARP-запрос
- 4) Формирую кадр, отправляю на **R1**

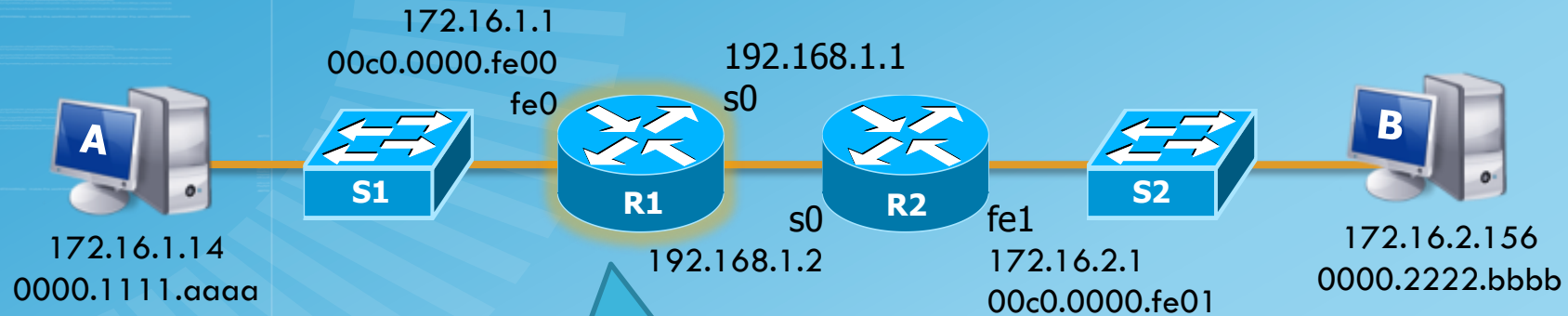
Source IP		Destination IP
172.16.1.14	172.16.2.156	DATA

Source MAC		Destination MAC
0000.1111.aaaa	00c0.0000.fe00	Пакет



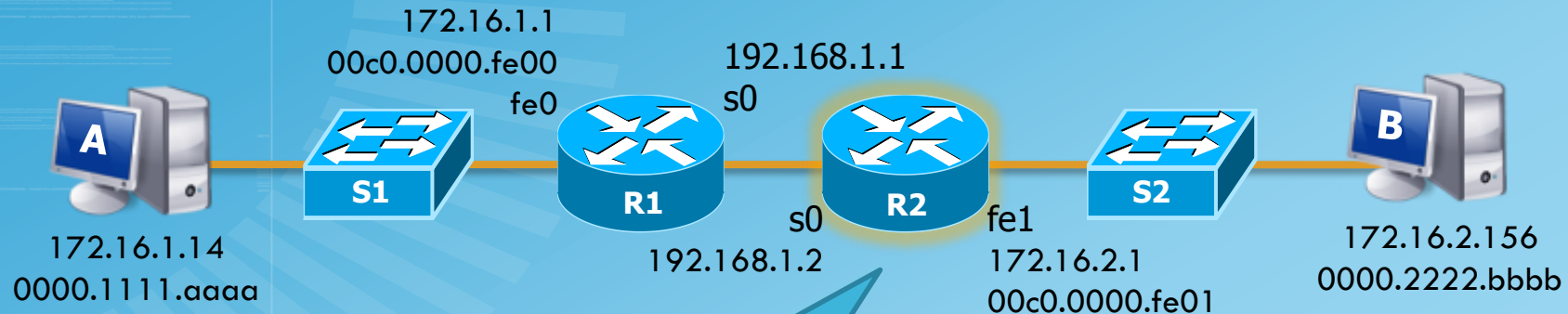
# Жизненный цикл пакета (2)



- 1) Я получил на **fe0** кадр. Что в нём?
- 2) В нем IP-пакет для 172.16.2.156
- 3) По таблице маршрутов нахожу номер интерфейса
- 4) Через последовательный HDLC-интерфейс **s0** отправляю пакет **R2**

Source		Destination
0000.1111.aaaa	00c0.0000.fe00	Пакет
172.16.1.14	172.16.2.156	DATA
172.16.1.14	172.16.2.156	DATA

# Жизненный цикл пакета (3)



- 1) Я получил на **s0** пакет для 172.16.2.156
- 2) По таблице маршрутов нахожу собственный интерфейс в сети назначения: **fe1**
- 3) Какой MAC у 172.16.2.156? Поиск по ARP-таблице (ARP-запрос)
- 4) Формирую кадр и отправляю **B**

Source IP	Destination IP	
172.16.1.14	172.16.2.156	DATA

Source MAC	Destination MAC	
00c0.0000.fe01	0000.2222.bbbb	Пакет

# Маршрутизация пакета (по шагам)

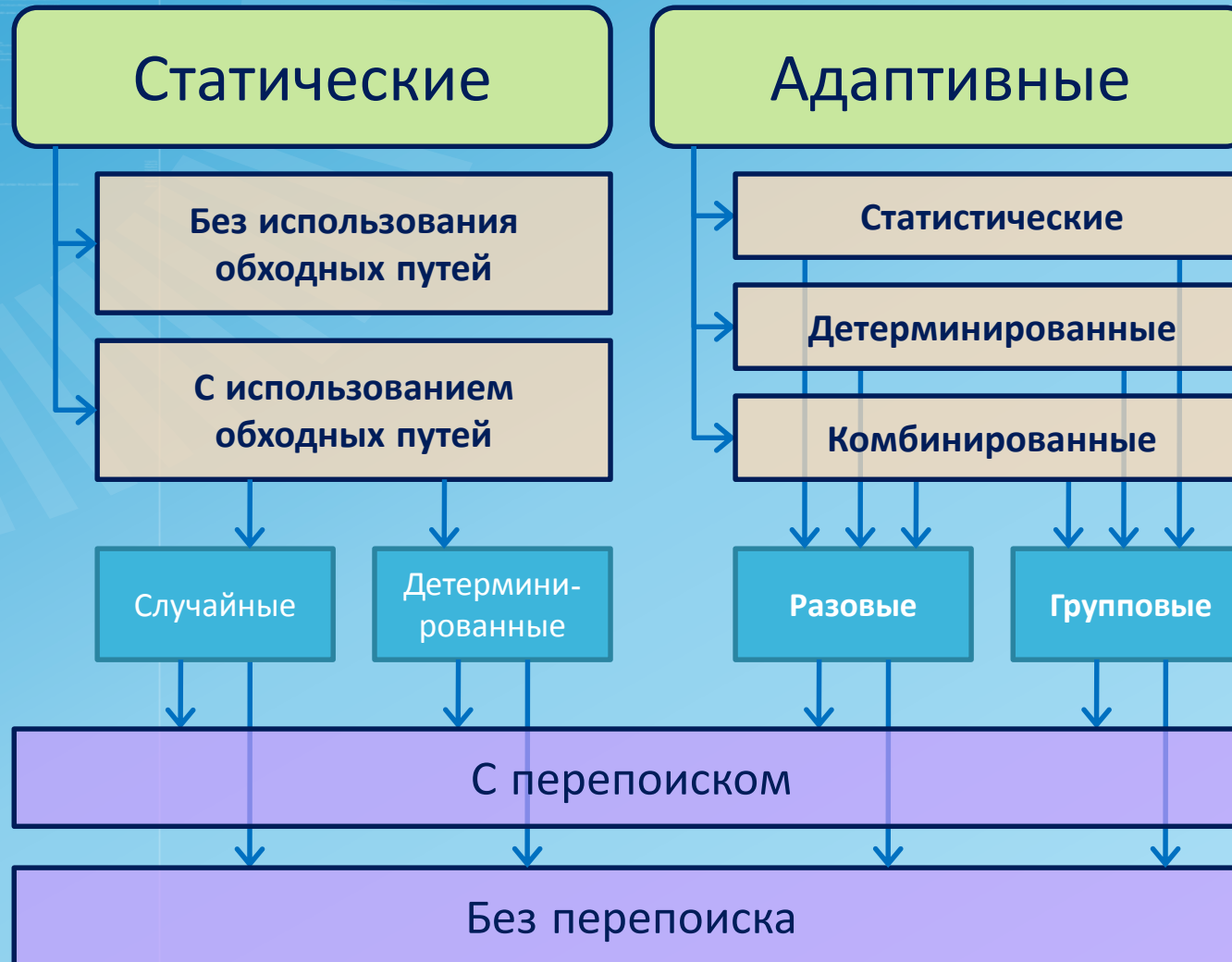
1. Из кадра, поступившего на входной интерфейс маршрутизатора, извлекается IP-пакет, анализируется IP-адрес назначения
2. Если сеть назначения не достигнута, для этого адреса по таблице маршрутизации определяется маршрут: выходной интерфейс, IP-адрес следующего маршрутизатора и т.д.
3. Исходный пакет (при необходимости) упаковывается в кадр нижележащей технологии LAN/WAN и отправляется через выходной интерфейс на следующий маршрутизатор (или узел назначения, если сеть назначения достигнута)
4. Шаги 1-3 повторяются на всех промежуточных маршрутизаторах, пока пакет не достигнет узла назначения

- MAC-адреса отправителя и получателя меняются каждый круг
- IP-адреса отправителя и получателя не меняются никогда

# Принципы маршрутизации

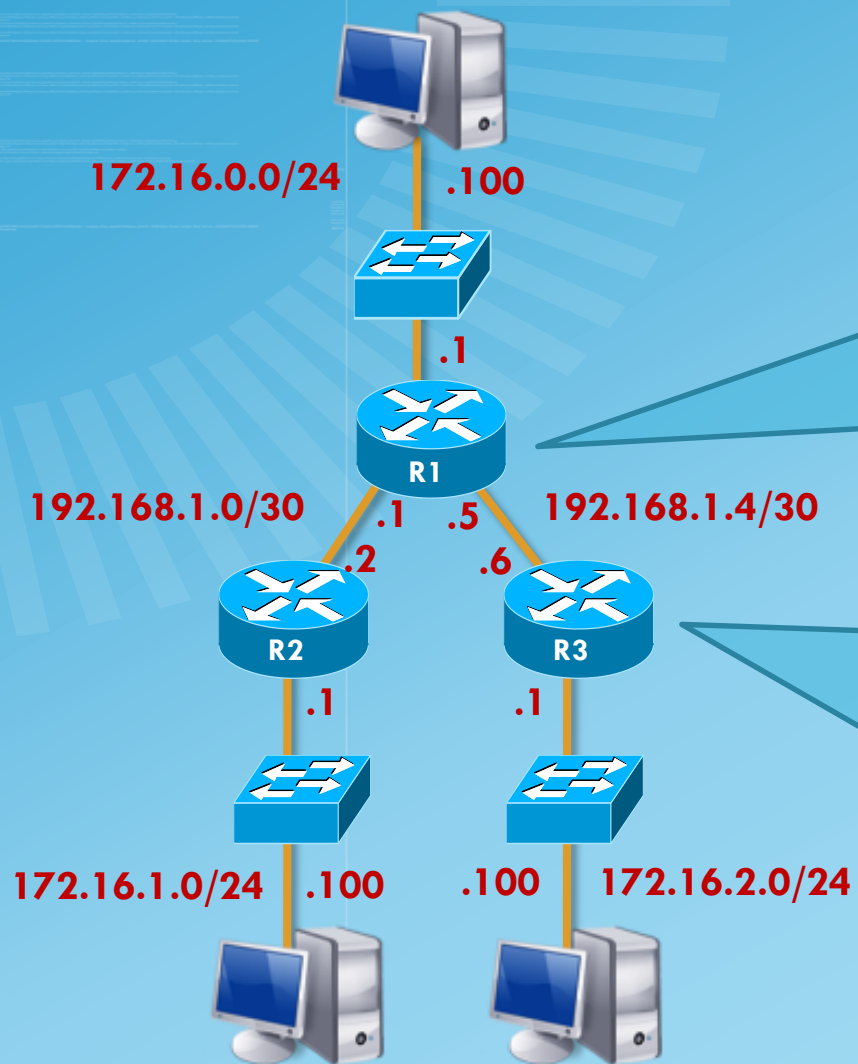
- Каждый маршрутизатор принимает решение о продвижении пакета независимо от других, на основе своей таблицы маршрутов
- Наличие записи в таблице одного маршрутизатора не гарантирует её наличие в таблицах других узлов
- Наличие в таблице маршрута из сети А в сеть В не гарантирует наличие обратного маршрута (асимметричность маршрутизации)

# Методы маршрутизации





# Статическая маршрутизация



C	172.16.0.0/24	[0]	fe0
C	192.168.1.0/30	[0]	s0
C	192.168.1.4/30	[0]	s1
S	172.16.1.0/24	[1]	192.168.1.2
S	172.16.2.0/24	[1]	192.168.1.6

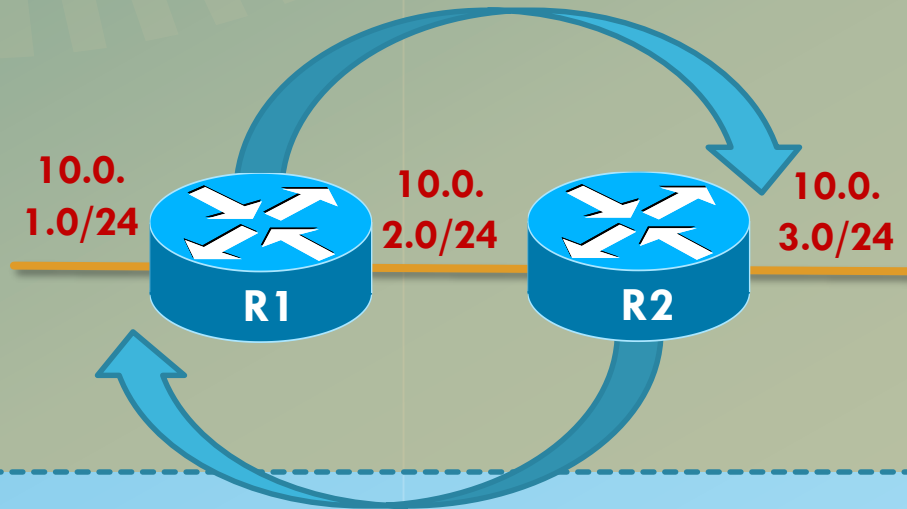
C	172.16.2.0/24	[0]	fe0
C	192.168.1.4/30	[0]	s0
S	172.16.0.0/24	[1]	192.168.1.5 (s0)
S	172.16.1.0/24	[2]	192.168.1.5 (s0)
S	192.168.1.0/30	[1]	192.168.1.5 (s0)

# Необходимость настройки M.

Настройка не требуется



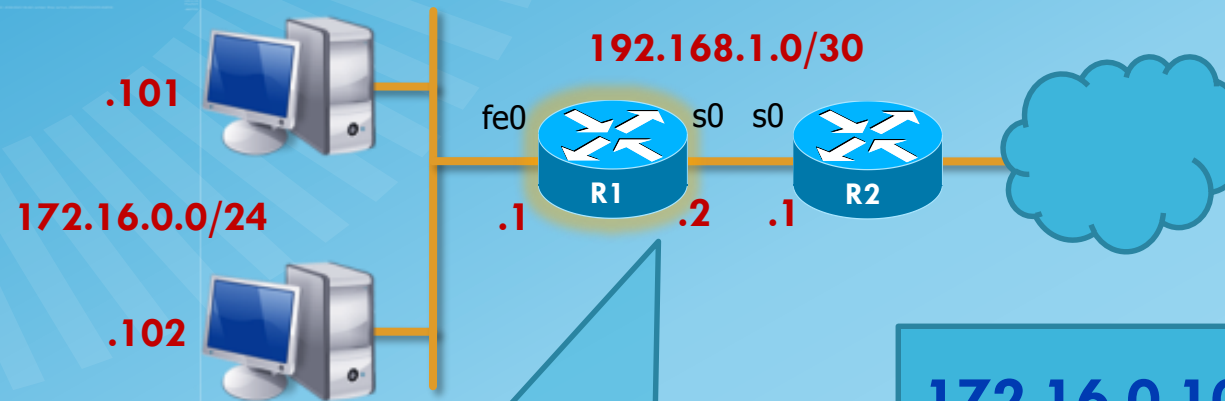
Настройка необходима



- У R1 есть интерфейсы во всех сетях
- Необходимые маршруты (типа C – Connected) будут добавлены в таблицу автоматически
- У R1 нет интерфейса в сети 10.0.3.0/24 – он сам не может узнать о ней
- Необходимо сообщить ему о ней вручную (статический маршрут) или заставить R2 сделать это (настроить протокольную маршрутизацию)

# Маршрут по умолчанию

**0.0.0.0**  
0.0.0.0 – 255.255.255.255



C	172.16.0.0/24	[0]	fe0
C	192.168.1.0/30	[0]	s0
S*	0.0.0.0/0	[1]	192.168.1.1 (s0)

**172.16.0.101** ←

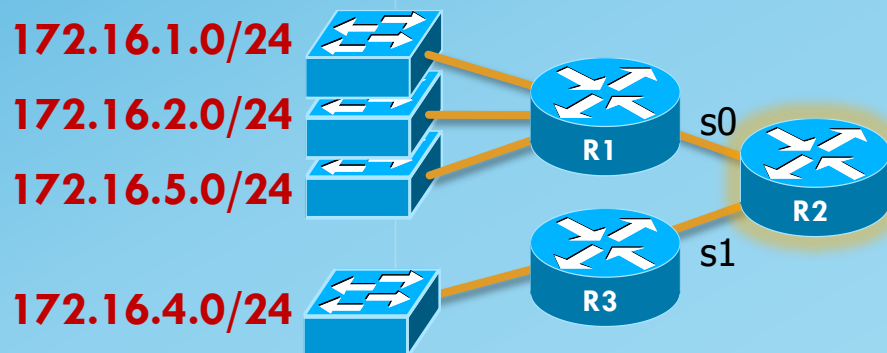
- 172.16.0.0/24 [0]
- 0.0.0.0/0 [1]

→ **82.179.84.1**

- 0.0.0.0/0 [1]

# Суммирование маршрутов

	повторяющиеся 21 бит	переменные
172.16.1.0/24	10101100.00010000.000000	001.00000000
172.16.2.0/24	10101100.00010000.000000	010.00000000
172.16.5.0/24	10101100.00010000.000000	101.00000000
<b>172.16.0.0/21</b>	10101100.00010000.000000 11111111.11111111.111111	000.00000000 000.00000000



S	172.16.0.0/ <b>21</b>	<b>[2]</b>	s0
S	172.16.4.0/ <b>24</b>	<b>[1]</b>	s1

# Настройка статической М. – пример



- `router#show ip route`
  - выводит текущую таблицу маршрутизации
- `router#show ip protocols`
  - выводит расширенную информацию об используемых протоколах маршрутизации
- `router(config)#ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 fe0/0`
- `router(config)# ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 10.0.0.1`
  - добавляет статические маршруты до указанных сетей с указанием собственного интерфейса (а) и next-hop адреса (б)



# Адаптивная маршрутизация

	Внутренняя маршрутизация (IGP)				Внешняя маршрутизация (EGP)
	Дистанционно-векторные пр.	Протоколы состояния связей			
Classful	RIP	IGRP			EGP
Classless	RIPv2	EIGRP	OSPF v2	IS-IS	BGPv4
IPv6	RIPng	EIGRP for IPv6	OSPF v3	IS-IS for IPv6	BGPv4 for IPv6

- **Адаптивная маршрутизация** (adaptive routing) – это совокупность методов маршрутизации, при которых маршрутизаторы могут в процессе работы изменять таблицы маршрутов, подстраиваясь под изменения в сети

# Протокол маршрутизации

## Задачи:

- Нахождение удалённых сетей
- Актуализация маршрутной информации
- Выбор лучшего маршрута до сети назначения
- Готовность найти новый лучший маршрут в случае непригодности текущего

## Компоненты:

- Структура данных (отдельные таблицы и базы данных)
- Алгоритм (для выбора кратчайшего пути)
- Сообщения (для нахождения соседей, обмена маршрутной информацией и т.д.)

## Общий принцип работы:

- Маршрутизатор передаёт и принимает маршрутные сообщения с помощью интерфейсов
- Маршрутизатор обменивается маршрутной информацией с другими маршрутизаторами, использующими тот же протокол маршрутизации
- Маршрутизаторы обмениваются маршрутной информацией для нахождения удалённых сетей
- Маршрутизаторы оповещают друг друга об изменениях в топологии

# Статическая vs. динамическая маршрутизация

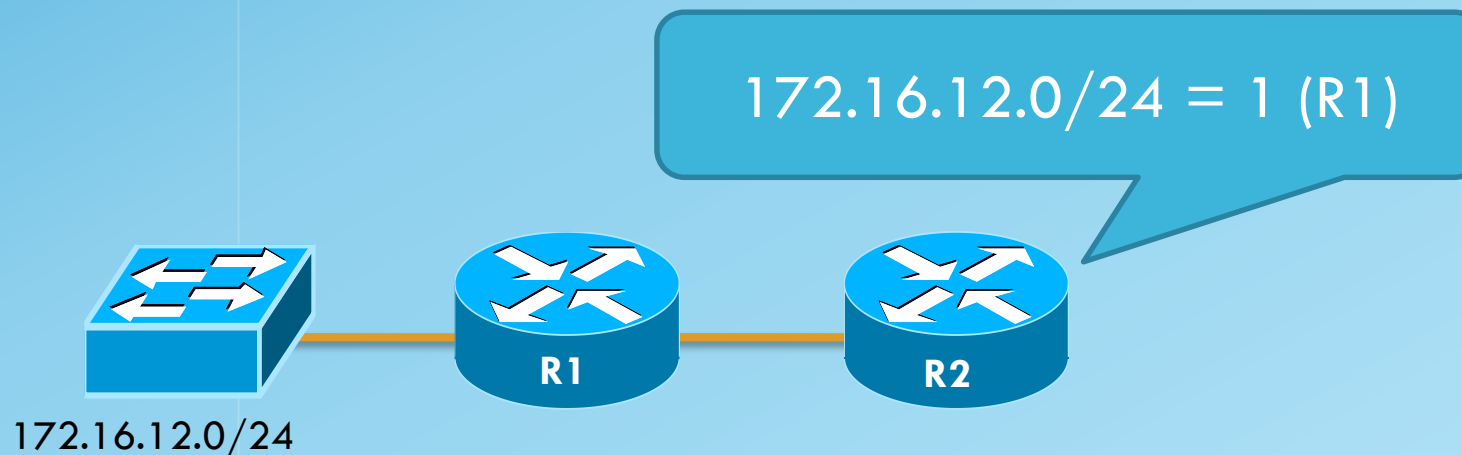
	Динамическая М.	Статическая М.
Сложность конфигурирования	Не зависит от размера сети	Возрастает с увеличением размера сети
Требования к квалификации администратора	Требуются специальные навыки и знания	Требуются базовые навыки и знания
Изменения топологии	Автоматическая адаптация к изменениям топологии	Требуется вмешательство администратора
Масштабируемость	Подходит для любых топологий	Подходит для простых топологий
Безопасность	Менее безопасна	Более безопасна
Ресурсоёмкость	Расходует пропускную способность, CPU и RAM	Не потребляет ресурсов
Предсказуемость	Маршруты переменны	Маршруты постоянны

# Дистанционно-векторные протоколы маршрутизации

- В качестве характеристики маршрута используется вектор расстояний (DV) – маршрутизаторы не знают полной топологии сети
- Маршрутизаторы периодически рассылают друг другу обновления маршрутной информации
  - адрес рассылки обновлений: 255.255.255.255
  - обновления содержат таблицы маршрутизации целиком

# Вектор-расстояние

- **Вектор-расстояние** (англ. distance vector) – характеристика маршрута, включающая направление, т.е. номер интерфейса и/или адрес следующего маршрутизатора (вектор), и расстояние (метрику маршрута) до удалённой сети
- **Хоп** (hop – англ. скачок) – переход пакета между двумя соседними маршрутизаторами на маршруте





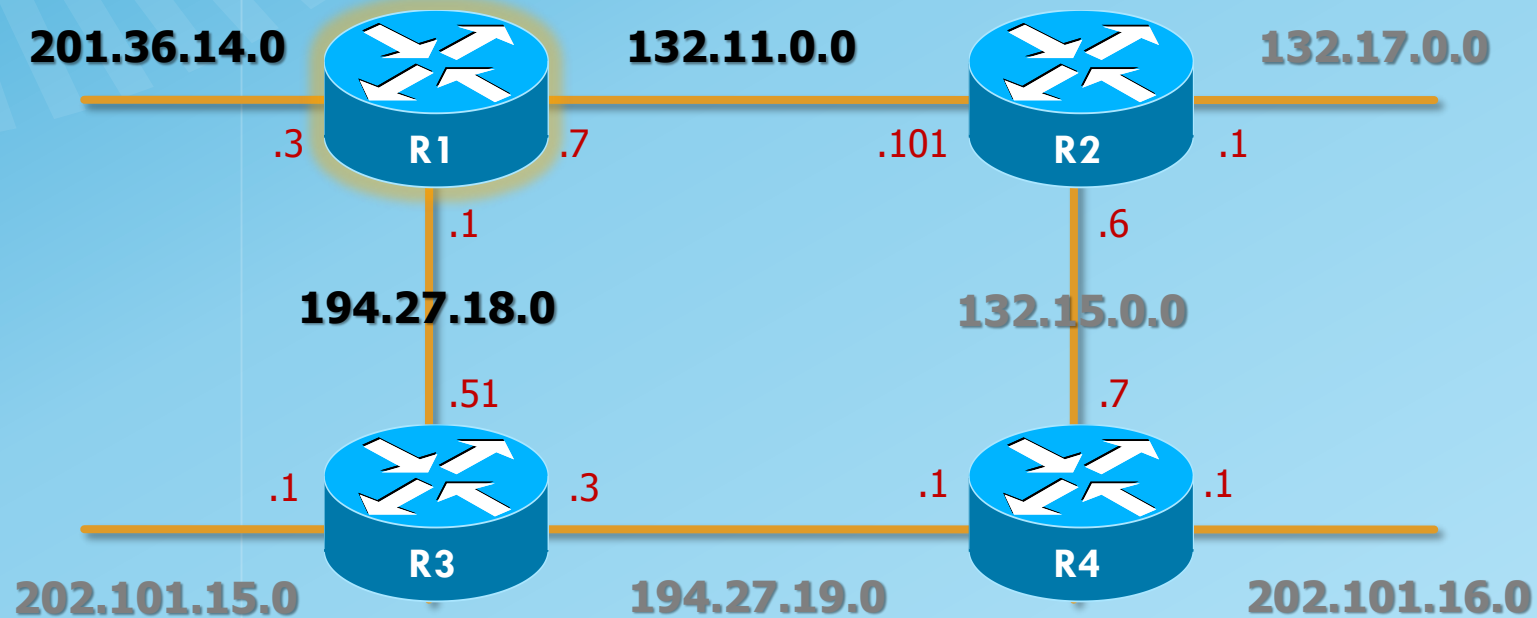
# Routing information protocol

- Внутренний протокол маршрутизации дистанционно-векторного типа
- Основан на математическом алгоритме Беллмана-Форда
- Использует **hop count** в качестве метрики
- Версии:
  - RIPv1 – классовая марш. – RFC 1058
  - RIPv2 – бесклассовая марш. – RFC 2453
  - RIPv6 – RIPv2 с поддержкой IPv6 – RFC 2080

# Протокол RIP – пример (1)

C	201.36.14.0	[0]	via	fe0
C	132.11.0.0	[0]	via	s0
C	194.27.18.0	[0]	via	s1

▣ **1 этап** –  
распознавание  
подключённых  
сетей

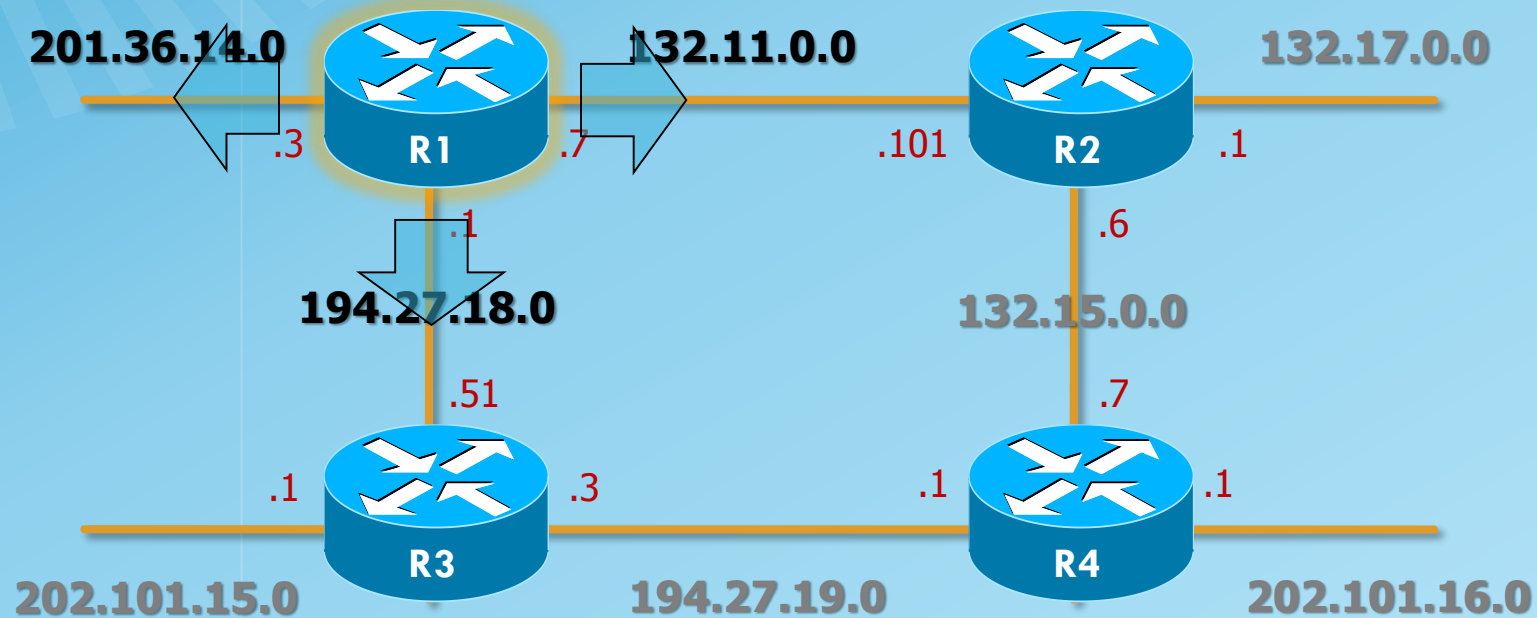


# Протокол RIP – пример (2)

Мне известны  
следующие  
маршруты:

201.36.14.0	[0]
132.11.0.0	[0]
194.27.18.0	[0]

▣ **2 этап** – рассылка  
элементарных  
таблиц

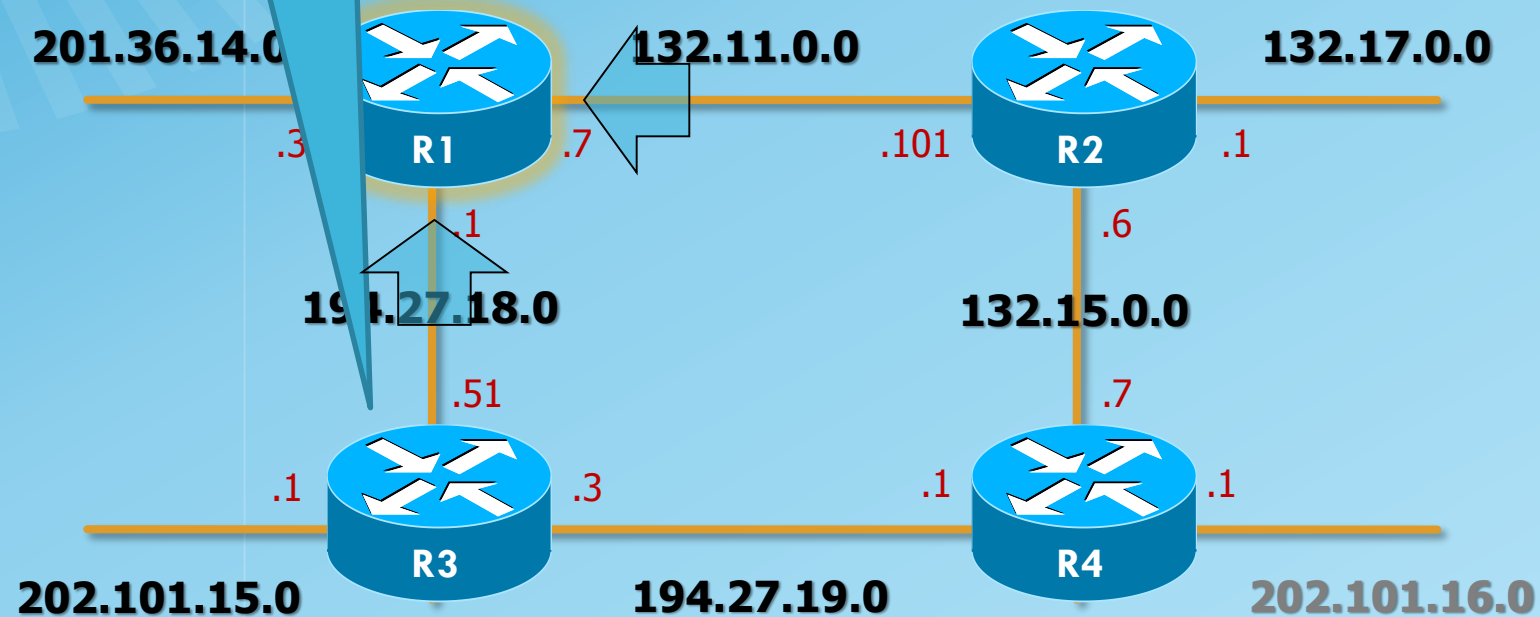


# Протокол RIP – пример (3.1)

201.101.15.0	[1]
194.27.18.0	[1]
194.27.19.0	[1]

132.17.0.0	[1]
132.11.0.0	[1]
132.15.0.0	[1]

□ **3 этап –**  
получение и  
обработка  
обновлений



# Протокол RIP – пример (3.2)

- ▣ 132.11.0.0 = 0 (s0, connected)
- ▣ 132.11.0.0 = 1 (s0, 132.11.0.101)

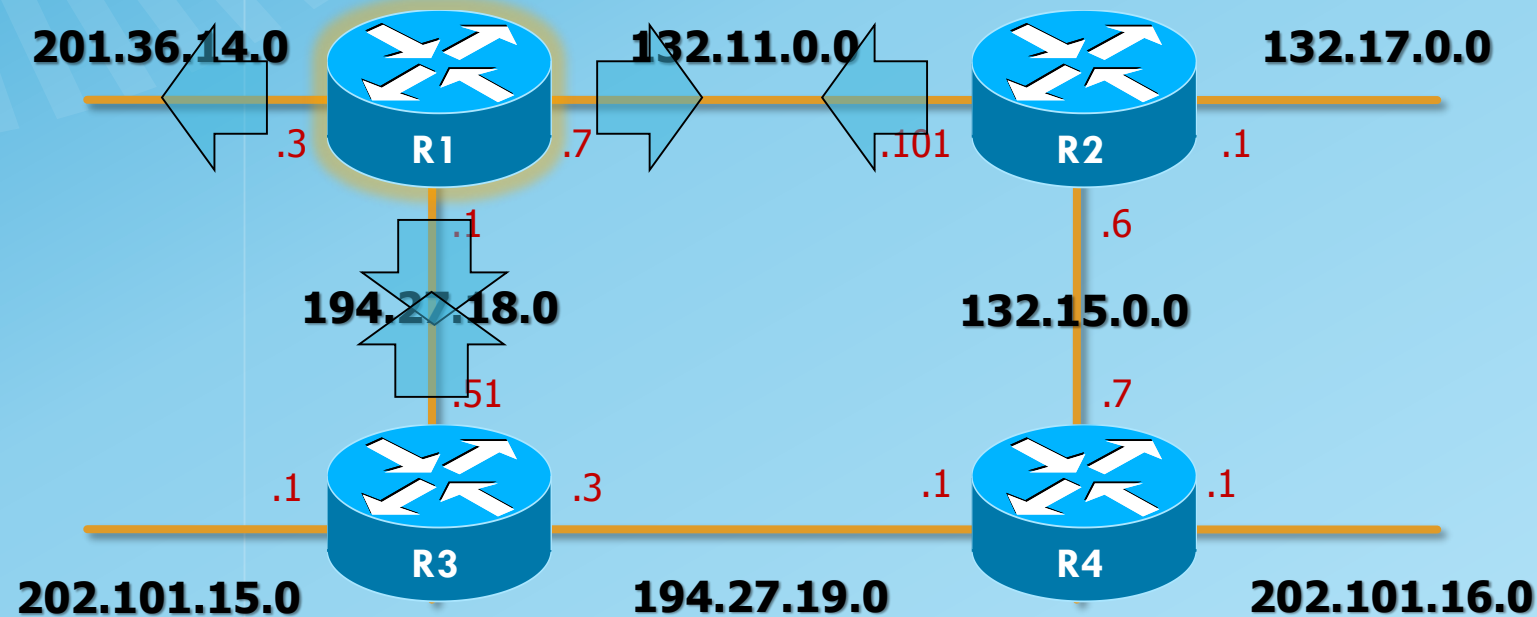
C	201.36.14.0	[0]	via	fe0
C	132.11.0.0	[0]	via	s0
C	194.27.18.0	[0]	via	s1
D	132.17.0.0	[1]	via	132.11.0.101 (s0)
D	132.15.0.0	[1]	via	132.11.0.101 (s0)
<del>D</del>	<del>132.11.0.0</del>	<del>[1]</del>	<del>via</del>	<del>132.11.0.101 (s0)</del>
D	202.101.15.0	[1]	via	194.27.18.51 (s1)
<del>D</del>	<del>194.27.18.0</del>	<del>[1]</del>	<del>via</del>	<del>194.27.18.51 (s1)</del>
D	194.27.19.0	[1]	via	194.27.18.51 (s1)



# Протокол RIP – пример (4.1)

201.36.14.0	[0]	132.15.0.0	[1]
132.11.0.0	[0]	202.101.15.0	[1]
194.27.18.0	[0]	194.27.19.0	[1]
132.17.0.0	[1]		

▣ **4 этап** –  
рассылка,  
приём и  
обработка  
обновлений



# Протокол RIP – пример (4.2)

C 201.36.14.0	[0]	via	fe0
C 132.11.0.0	[0]	via	s0
C 194.27.18.0	[0]	via	s1
D 132.17.0.0	[1]	via	s0
<b>D 132.15.0.0</b>	<b>[1]</b>	<b>via</b>	<b>s0</b>
<del>D 194.27.19.0</del>	<del>[2]</del>	<del>via</del>	<del>132.11.0.101 (s0)</del>
<b>D 202.101.16.0</b>	<b>[2]</b>	<b>via</b>	<b>132.11.0.101 (s0)</b>
D 202.101.15.0	[1]	via	s1
<b>D 194.27.19.0</b>	<b>[1]</b>	<b>via</b>	<b>s1</b>
<del>D 132.15.0.0</del>	<del>[2]</del>	<del>via</del>	<del>194.27.18.51 (s1)</del>
<b>D 202.101.16.0</b>	<b>[2]</b>	<b>via</b>	<b>194.27.18.51 (s1)</b>

# Обработка изменений топологии

## ■ Причины изменения топологии

- Выход из строя канала связи
- Выход из строя маршрутизатора
- Активация нового канала связи
- Изменение параметров канала связи

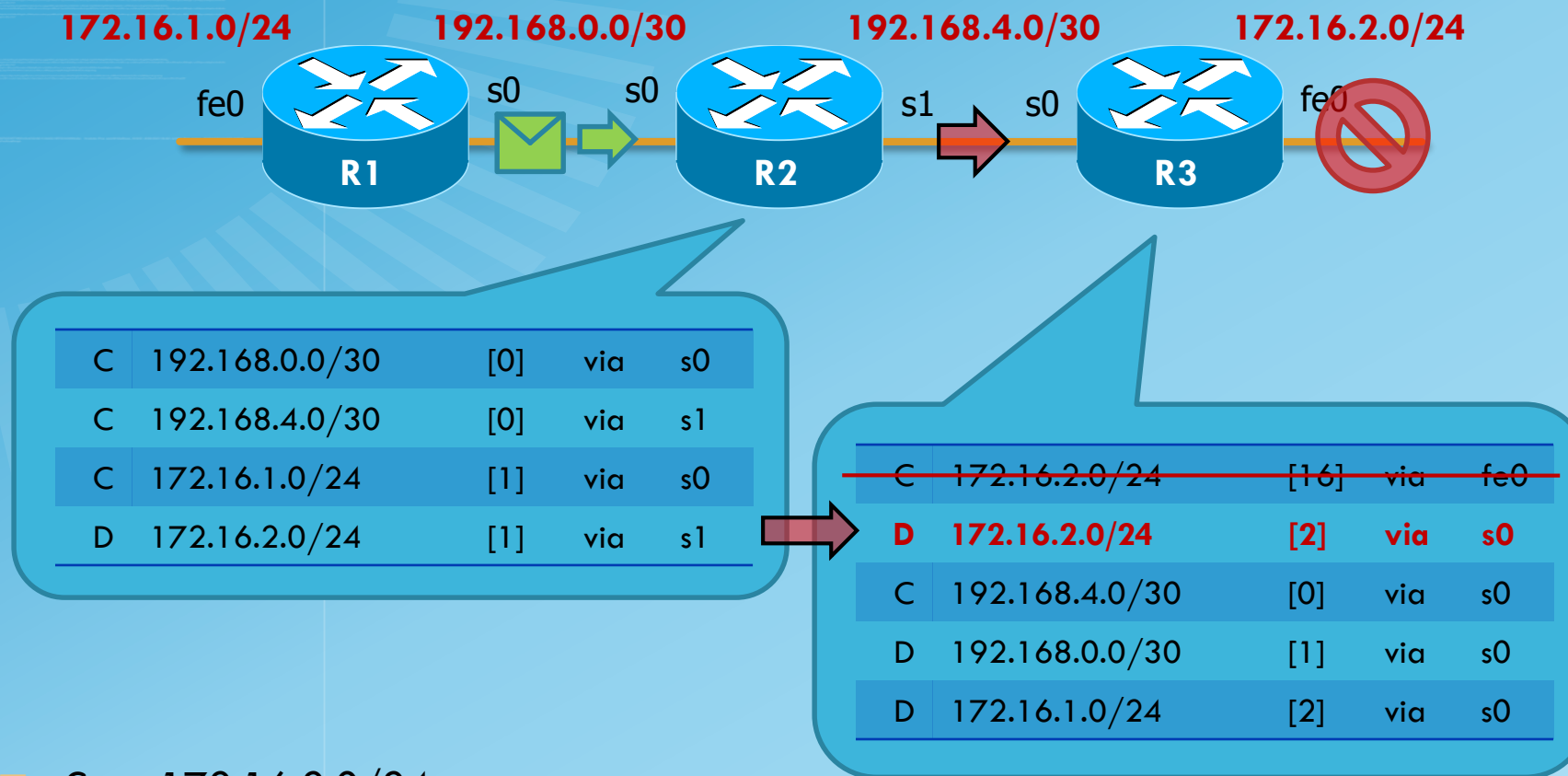
## ■ Обновления

- Периодические (каждые 30 сек)
- Триггерные (при изменении топологии)

## ■ Таймеры

- `invalid` (180 сек) – выставление метрики [16]
- `flush` (240 сек) – удаление маршрута
- `holddown` (180 сек) – заморозка изменений

# Маршрутные петли (1)



- Сеть 172.16.2.0/24 «падает»
- R2 успевает послать обновление раньше, чем R1
- Пакет от R1 в сеть 172.16.2.0/24 закидывается между R2 и R3

# Маршрутные петли (2)

## ■ Механизмы возникновения:

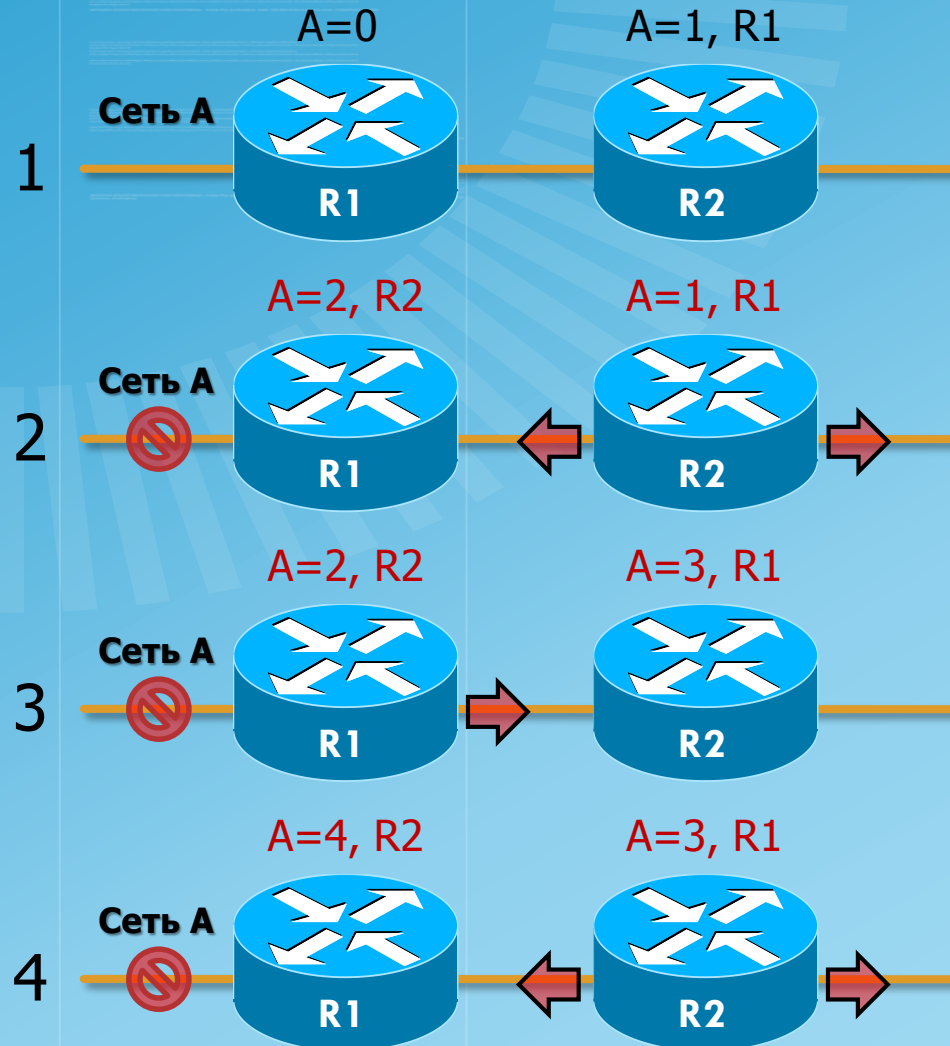
- Неверно настроенные статические маршруты
- Неверно настроенное взаимодействие нескольких протоколов маршрутизации
- Недостаточно частые обновления маршрутных таблиц в быстро меняющейся сети
- Неверно сконфигурированный протокол маршрутизации

## ■ Способы предотвращения (протокол RIP):

- Максимальная метрика (16)
- Holddown timer (таймер заморозки)
- Split horizon («разделение горизонта»)
- Route poisoning или poison reverse
- Триггерные обновления
- IP TTL (Собственный механизм протокола IP)

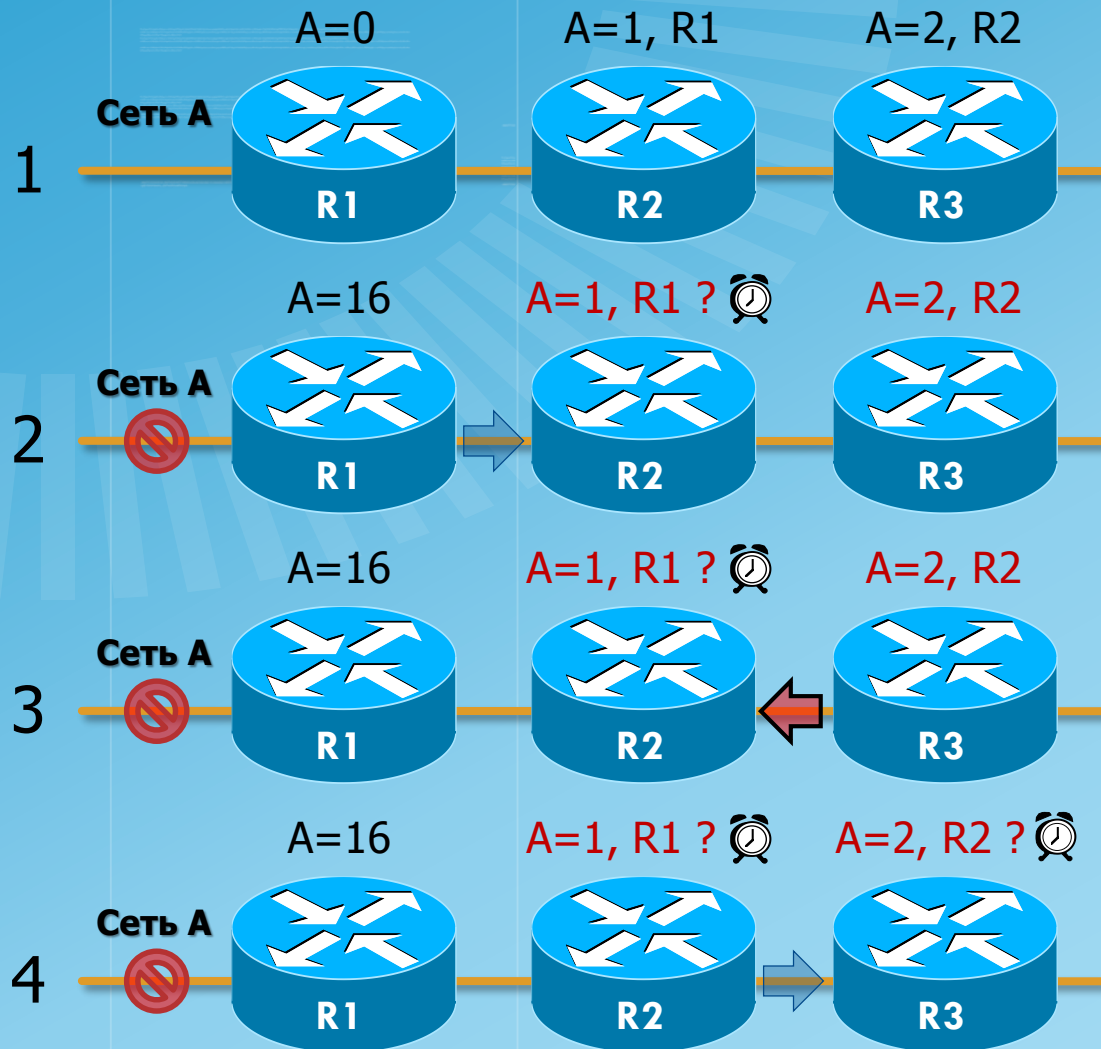


# Count to Infinity



- Метрика увеличивается на каждом этапе обновления – до бесконечности
- Установим «конечную» бесконечность – в RIP бесконечности соответствует метрика 16, network unreachable

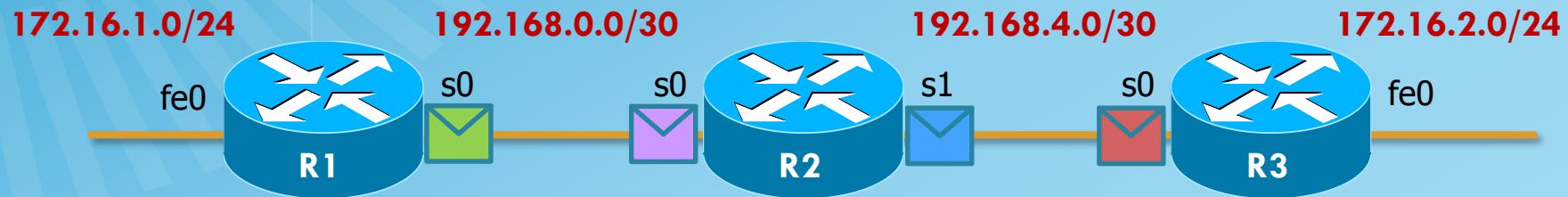
# Hold-down timer



- R2 получает от соседа R1 извещение о том, что сеть A недоступна
- R2 помечает сеть A как «возможно, недоступную» и запускает таймер заморозки (2)
- При получении маршрута с **лучшей** метрикой в течение таймера R1 обновит маршрут и сбросит таймер
- При получении маршрута с равной или худшей метрикой в течение таймера R1 игнорирует данное обновление (3)
- По истечении таймера «возможно, недоступные» сети помечаются как недоступные

# Split horizon

- Маршрутизатор не передаёт информацию о сети на тот интерфейс, через который эта информация была получена



C	192.168.0.0/30	[0]	via	s0
C	192.168.4.0/30	[0]	via	s1
C	172.16.1.0/24	[1]	via	s0
D	172.16.2.0/24	[1]	via	s1



192.168.4.0/30	[1]
172.16.2.0/24	[2]

➡ s0

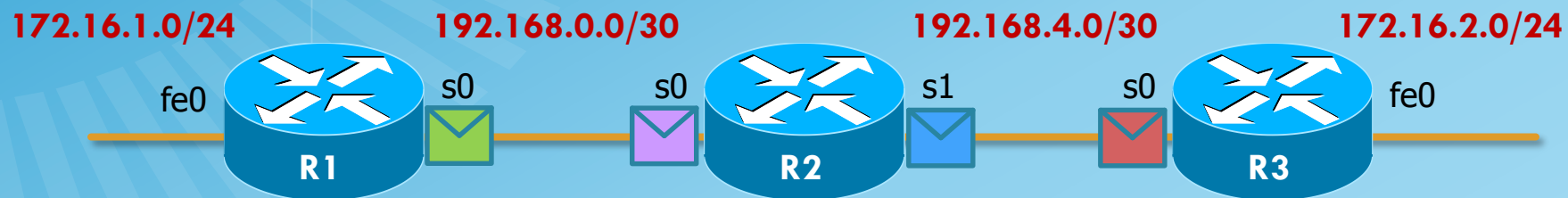


192.168.0.0/30	[1]
172.16.1.0/24	[2]

➡ s1

# Split horizon with Poison reverse

- Маршрутизатор передаёт обратно на интерфейс, через который получена информация о сети, маршрут с бесконечной метрикой.



C	192.168.0.0/30	[0]	via	s0
C	192.168.4.0/30	[0]	via	s1
C	172.16.1.0/24	[1]	via	s0
D	172.16.2.0/24	[1]	via	s1

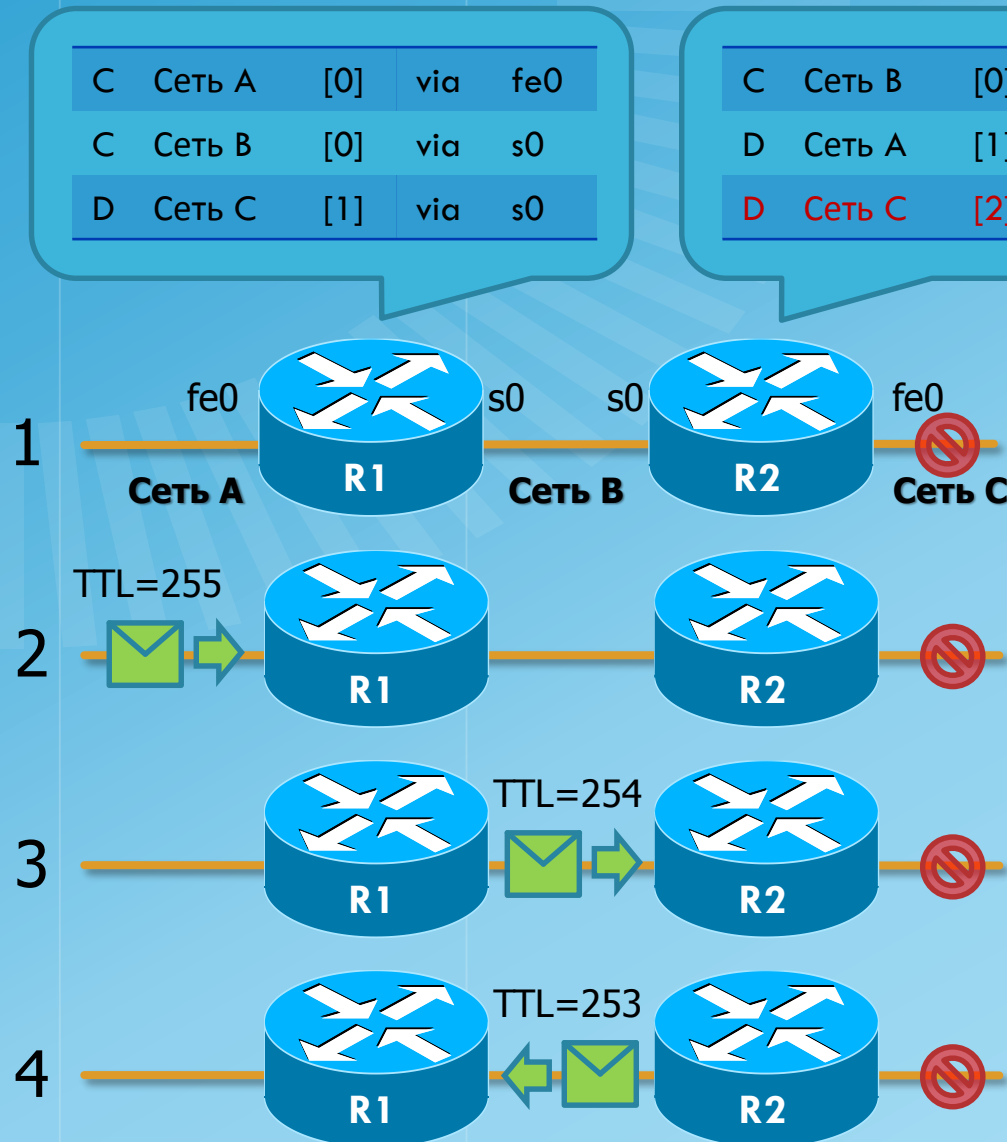
192.168.4.0/30	[1]
172.16.2.0/24	[2]
192.168.0.0/30	[16]
172.16.1.0/24	[16]

→ s0

192.168.0.0/30	[1]
172.16.1.0/24	[2]
192.168.4.0/30	[16]
172.16.2.0/24	[16]

→ s1

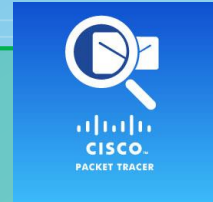
# IP «Time to live» – TTL



- Каждый маршрутизатор при продвижении IP-пакета сокращает TTL на единицу
- При истечении TTL пакет уничтожается
- На использовании TTL основана утилита TRACEROUTE



# Настройка RIP – пример



- `router#show ip rip [ ... ]`
  - сведения о конфигурации и работе протокола RIP
- `router(config)#router rip`
  - переход в режим конфигурирования протокола RIP
- `router(config-router)#version { 1 | 2 }`
  - включает протокол RIP выбранной версии
- `router(config-router)#no auto-summary`
  - отключает автосуммирование маршрутов (по умолчанию включено)
- `router(config-router)#network 10.0.0.0`
  - включает RIP на всех интерфейсах, входящих в указанную сеть
- `router(config-router)#passive-interface f0/0`
  - переводит интерфейс f0/0 в пассивный режим; пассивные интерфейсы не осуществляют рассылку маршрутных сообщений
- `router(config-router)#default-information originate`
  - включает анонсирование маршрута по умолчанию