Компьютерные сети (NET101)

Сетевой уровень. Сети TCP/IP.

Содержание лекции

- Обзор сетевого уровня
  - Функции сетевого уровня
  - Общие вопросы маршрутизации
    - Типы маршрутизации
    - Алгоритмы динамической маршрутизации
- Сетевой уровень сетей TCP/IP
  - Адресация в TCP/IP-сетях
    - Типы адресов
    - Преобразование адресов
      - Протокол ARP
      - Служба DNS
    - Назначение IP-адресов
      - Протокол DHCP
  - Протокол IPv4
    - Формат IP-пакета
  - Маршрутизация в IP-сетях
    - Таблица маршрутизации и протоколы динамической маршрутизации
  - Диагностика сети
    - Протокол ICMP

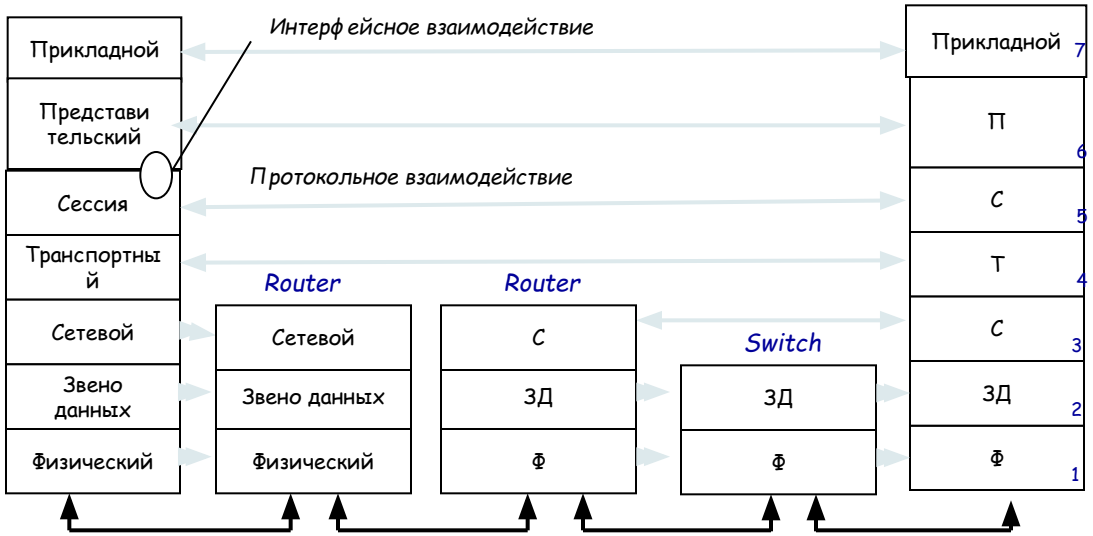
Функции сетевого уровня

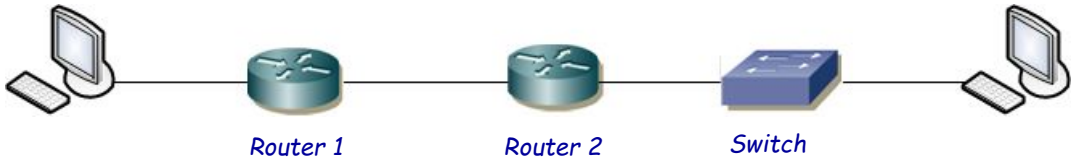
Прикладной
Представительский
Сессия
Транспортный
Сетевой
Звено данных
Физический

- Базовые функции
  - Адресация
  - Маршрутизация
  - Управление потоком
- Дополнительные функции
  - Фрагментация
  - Диагностика сети

Маршрутизатор

Маршрутизатор (Router)



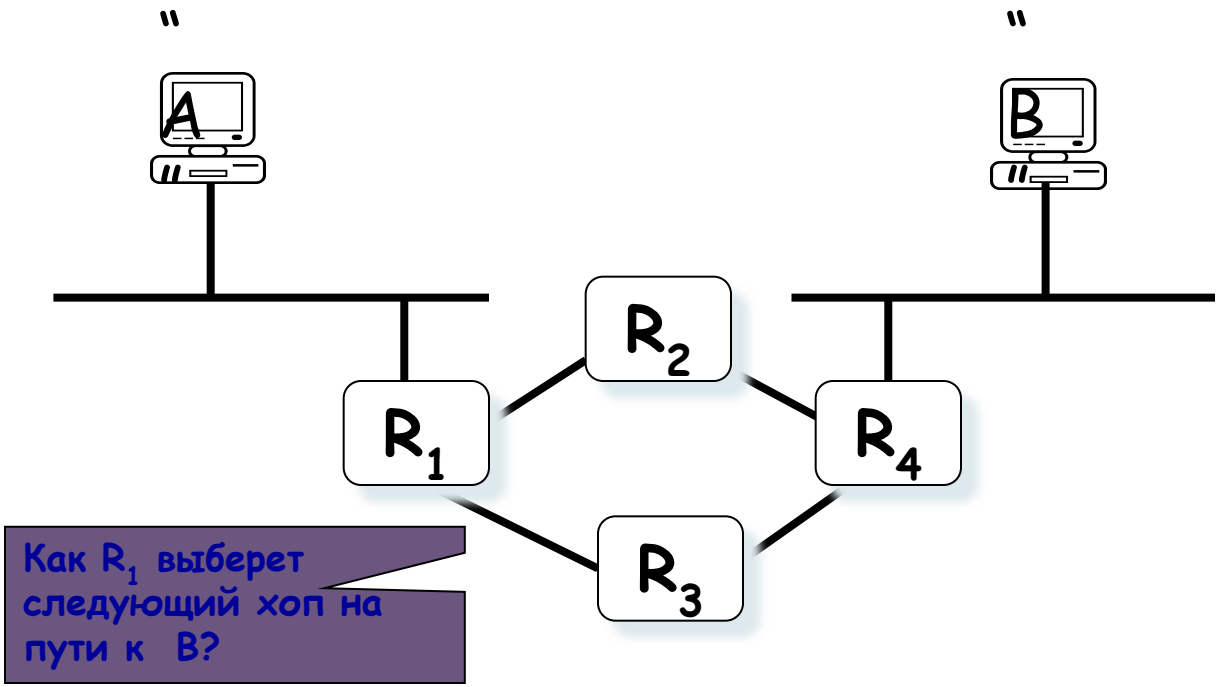


Сколько здесь сетей?

Маршрутизация (routing)

Процессы:

- выбор маршрута до узла назначения при пересылке пакета (forwarding)
- распространение информации о существующих в сети маршрутах (route information exchange)

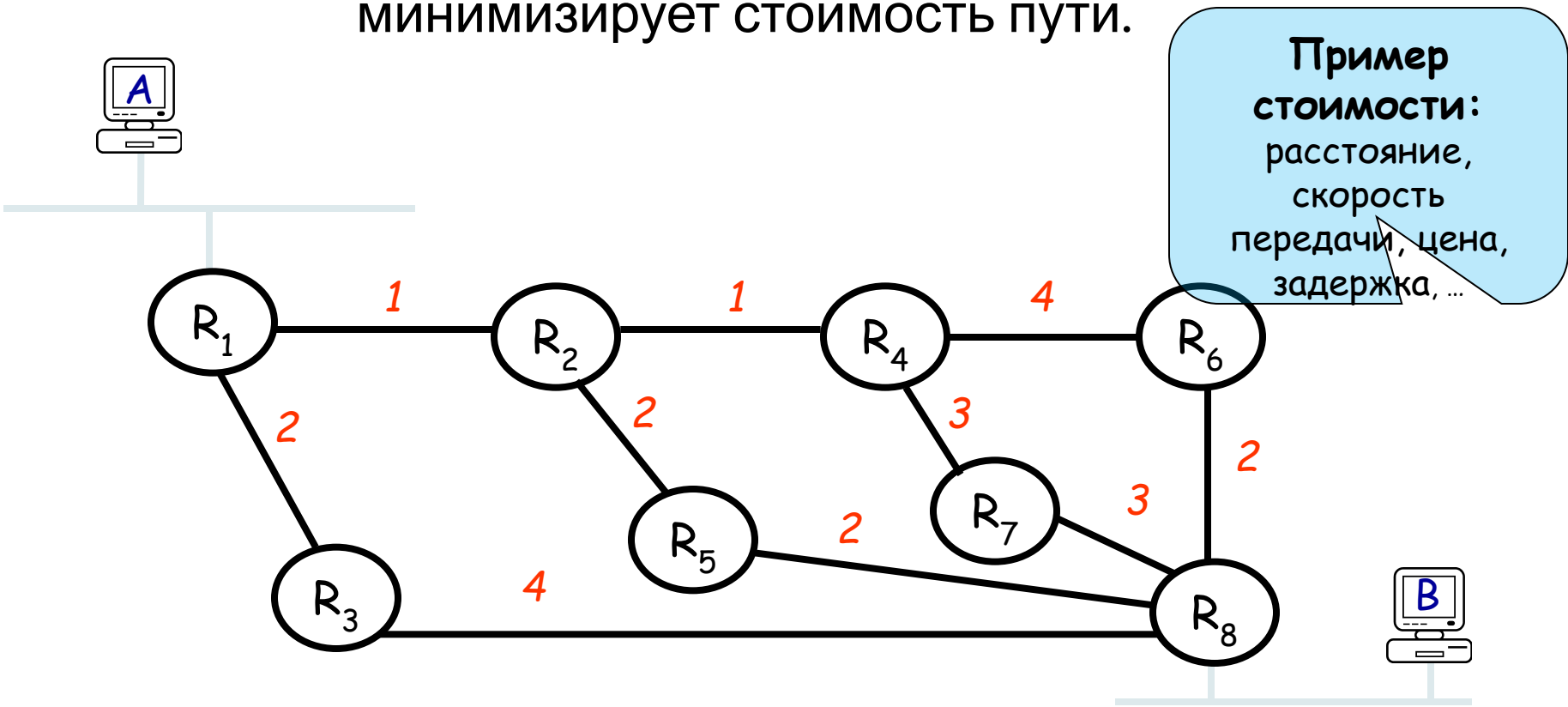


Типы маршрутизации

- Статическая
- Квазистатическая
  - Лавинная
- Динамическая
  - Распределенный алгоритм Беллмана-Форда
  - Алгоритм Дейкстры Shortest Path First (SPF)

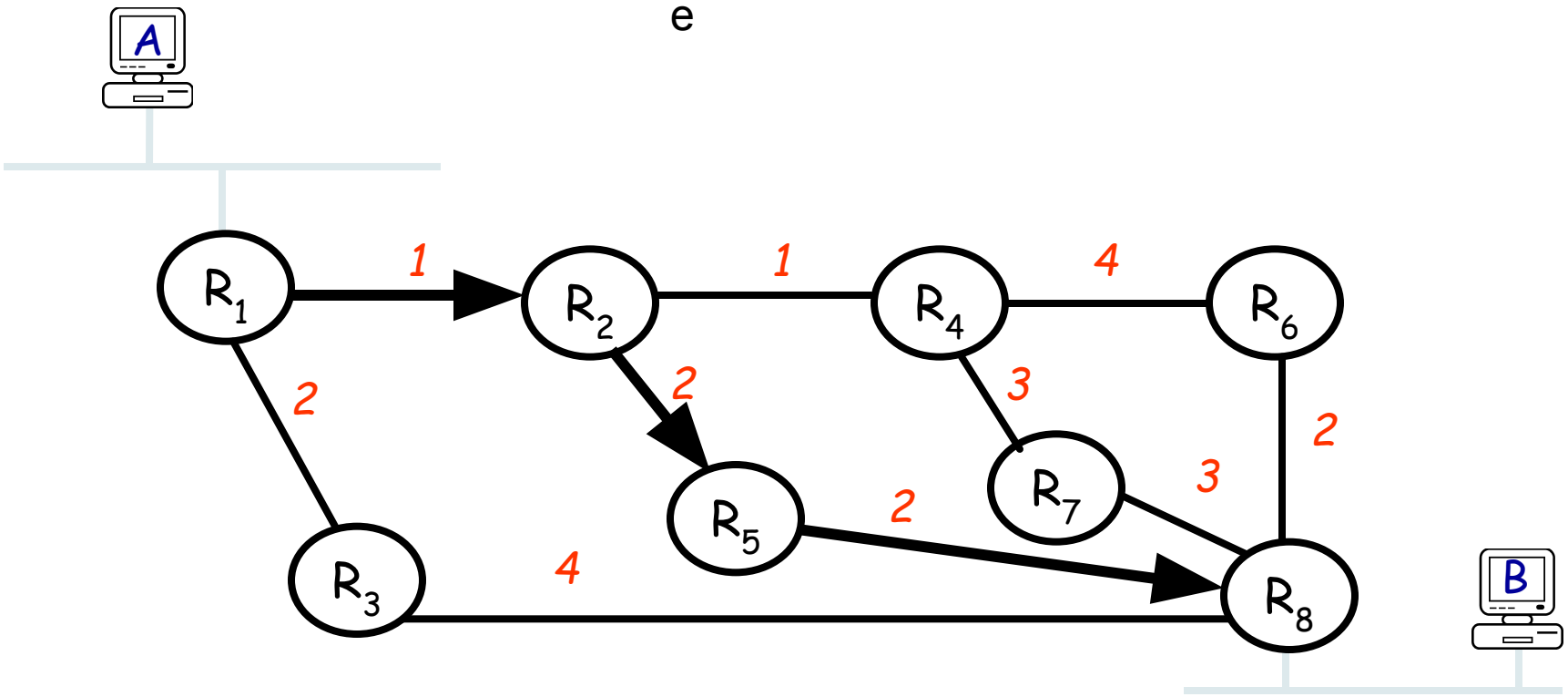
Пример сети

Задача: найти путь от A к B который минимизирует стоимость пути.



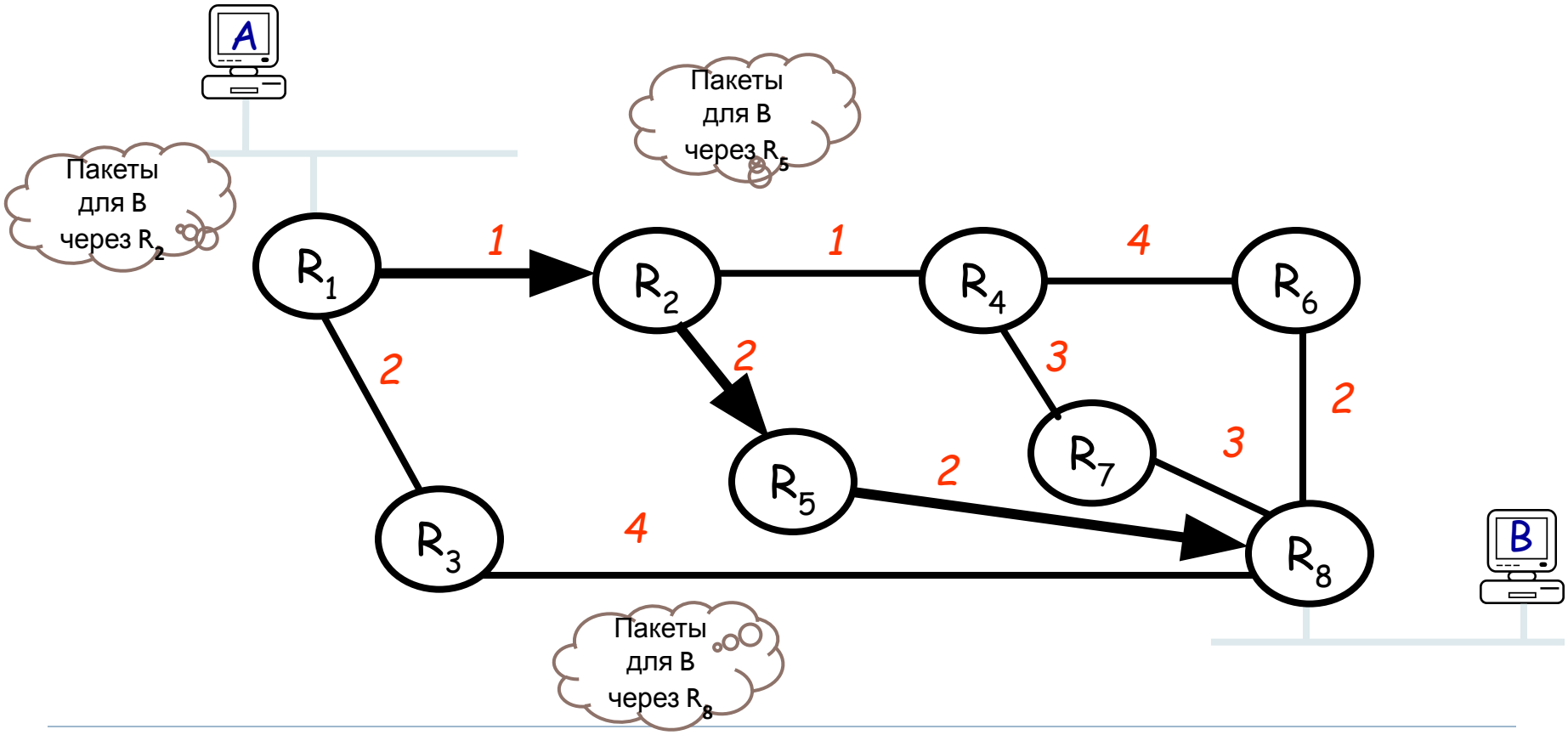
Пример сети

Решение



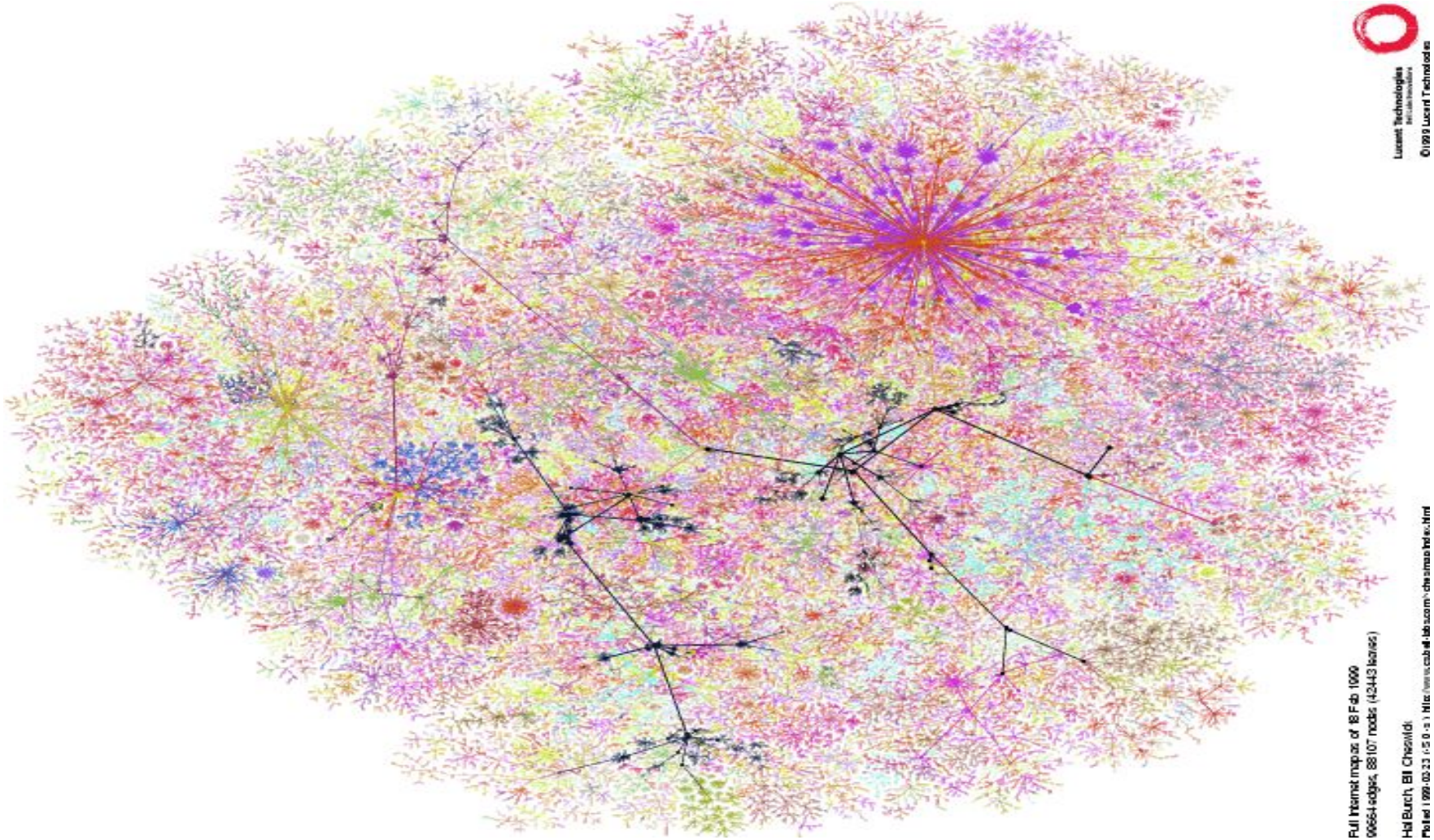
Статическая маршрутизация

Зная оптимальный маршрут заранее,
настроим маршрутизаторы так,
чтобы пакеты шли только по этому маршруту



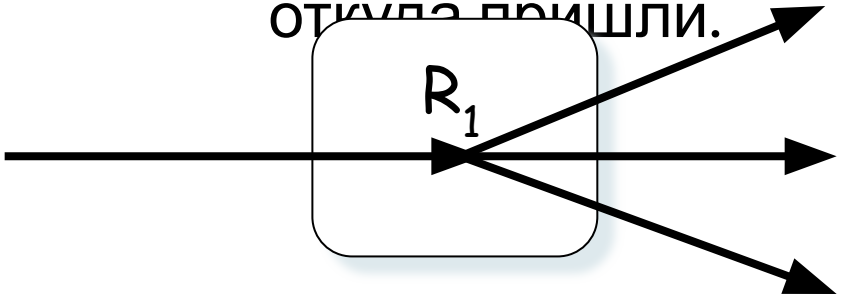
А как быть с такой сетью…!?

Internet в 1999



Лавинный алгоритм

Пакеты передаются во все направления, кроме тех,
откуда пришли.



Преимущества:

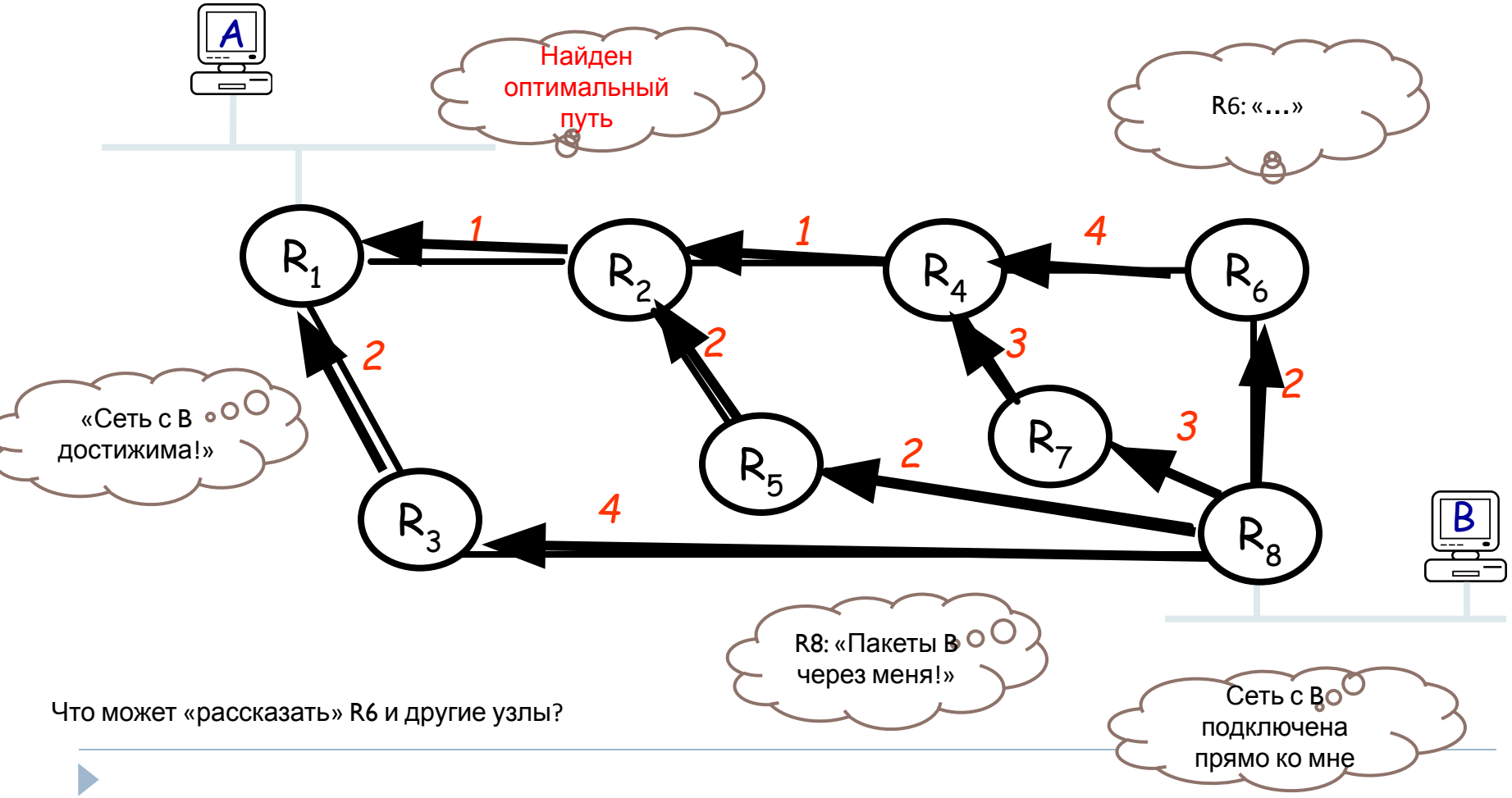
- простота;
- любой узел сети доступен.

Недостатки:

- пакеты могут приходить на промежуточные узлы несколько раз;
- может быть зацикливание;
- загрузка сети.

Динамическая маршрутизация

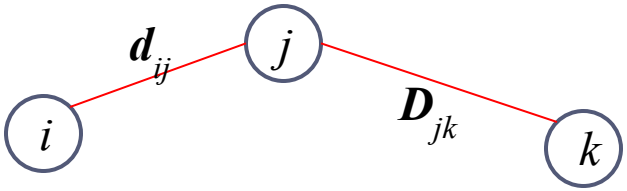
Идея: маршрутизаторы должны «рассказать» друг другу о том как лучше доставить пакет



Что может «рассказать» R6 и другие узлы?

Распределенный DV алгоритм Bellman-Ford

Маршрутизаторы периодически обмениваются информацией о стоимости лучшего известного им пути к сети (узлу) назначения. Если таких сетей несколько – получается вектор расстояний (Distance Vector, DV)



d_{ij} – стоимость передачи по линии связи между узлами i и j

$d_{ii} = 0$

$d_{ij} = \infty$, если узлы не связаны

D_{ij} – стоимость пути между узлами i и j

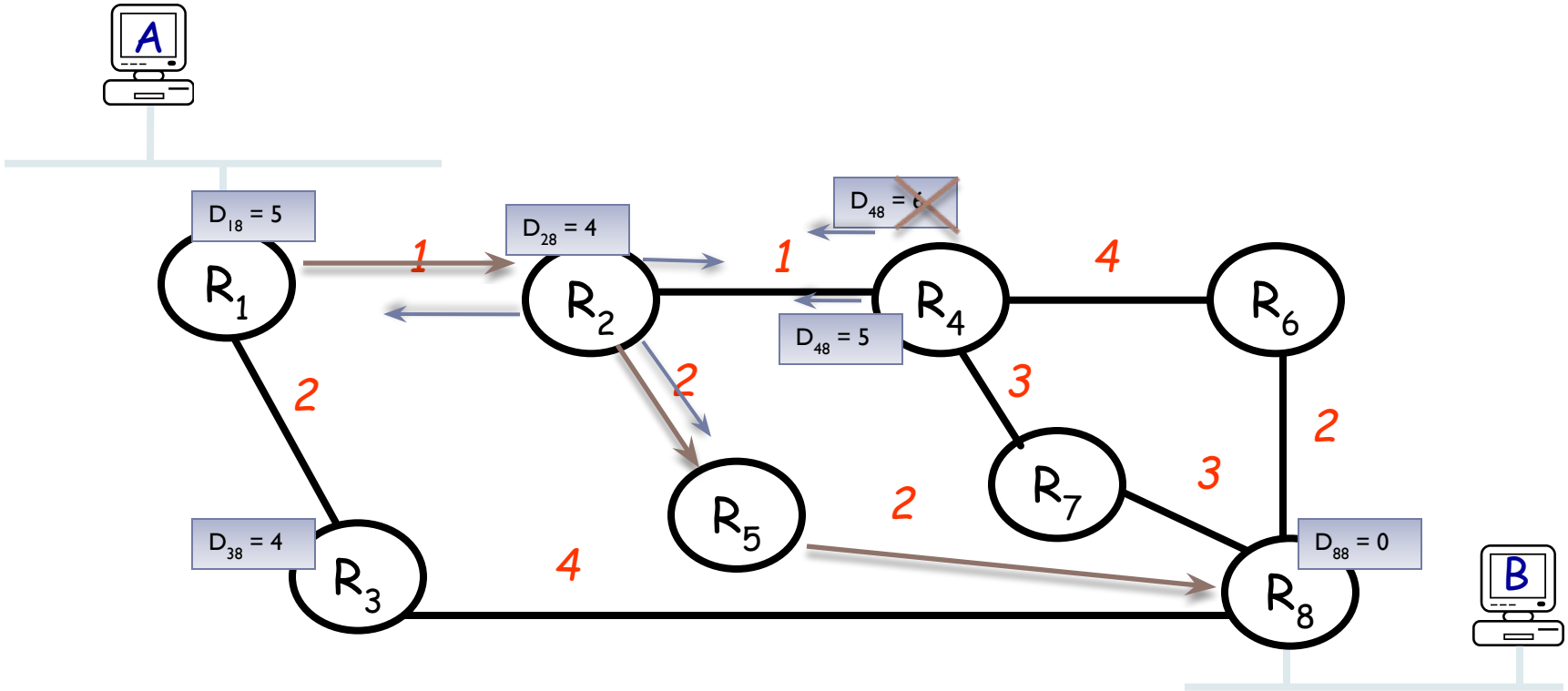
Алгоритм для узла i:

1. $D_{ii} = 0;\ D_{ij} = \infty;$
2. $D_{ii} = \min\limits_{k \text{ подключен к } i} \{d_{ik} + D_{ki}\},\ i \neq j,$

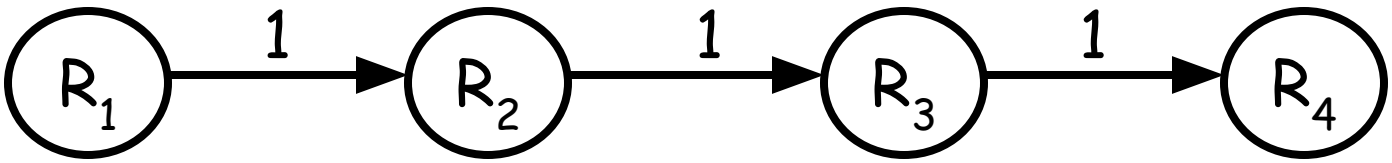
Периодически повторяется

Получено от k в векторе расстояний (DV): $\{D_{k1}, D_{k2}, \ldots, D_{kn}\}$

Пример сети


A
B
$D_{18} = 5$
$D_{28} = 4$
$D_{48} = 6$
$D_{48} = 5$
$D_{38} = 4$
$D_{88} = 0$
R_1
R_2
R_3
R_4
R_5
R_6
R_7
R_8
1
1
4
2
2
3
2
3
2
4

Проблема алгоритма Bellman-Ford



Рассмотрим как будет вычисляться расстояние до R_4:

Time	R_1	R_2	R_3
0	3,R_2	2,R_3	1, R_4
1	3,R_2	2,R_3	3,R_2
2	3,R_2	4,R_3	3,R_2
3	5,R_2	4,R_3	5,R_2
…	До бесконечности		…

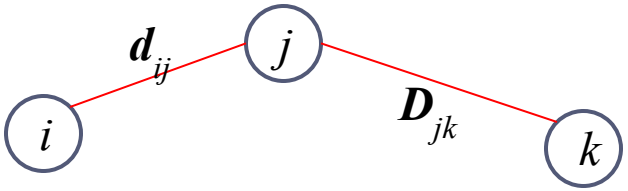
отказ связи $R_3 \rightarrow R_4$

<u>Решение:</u>
Установить предел расстояния (небольшое значение 16) после которого связь считается разорванной.

Алгоритм Дейкстры Shortest Path First (SPF)

Алгоритм SPF:

- предполагает знание топологии сети: узлы, наличие связей между ними и состояние этих связей (Link State*, LS);
- строит покрывающее сеть дерево таким образом, чтобы стоимость путей от корня до листовых вершин была минимальной.



d_{ij} – стоимость передачи по линии связи между узлами i и j

$d_{ii} = 0$

$d_{ij} = \infty$, если узлы не связаны

D_{ij} – стоимость пути между узлами i и j

N – все узлы сети

N_k – узлы сети, соседние с k

S – узлы, включенные в дерево

C – узлы-кандидаты на включение в дерево

Алгоритм для узла i:

1. $D_{ii} = 0;$

   $S = \{ i \}, C = N \setminus \{ i \}.$

   $D_{ij} = d_{ij}, j \in C;$
2. *Найти* $k \in C$, *такое что* $D_{ik} = \min_{m \in C} D_{im}$;

   $S = S \cup \{ k \};$

   $C = C \setminus \{ k \};$

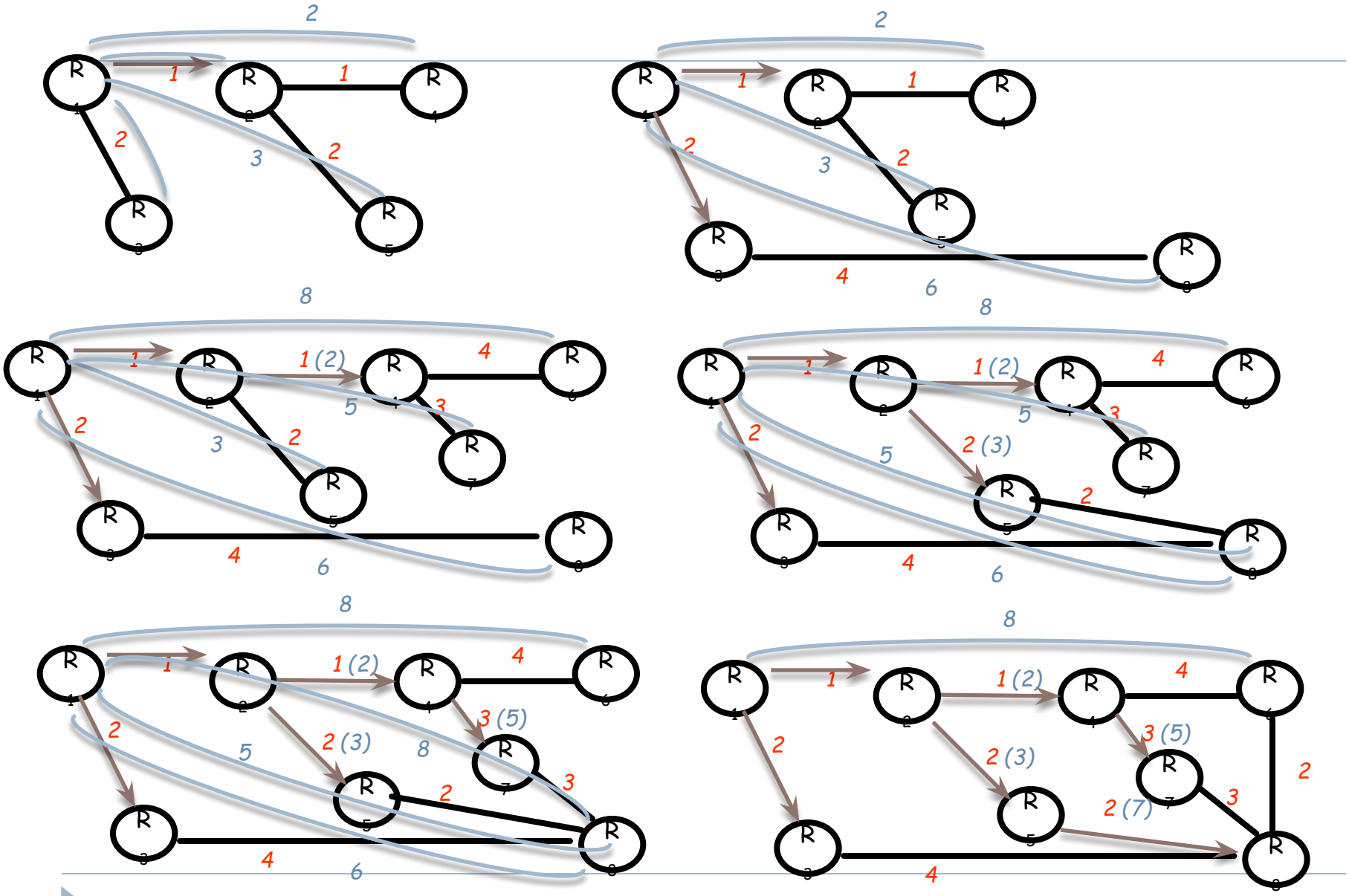
   Закончить, если C *пусто.*
3. *Для* $j \in N_k \cap C$ *пересчитать* D:

   $D_{ij} = \min \{ D_{ij}, D_{ik} + d_{km} \}$

   Перейти к шагу 2.

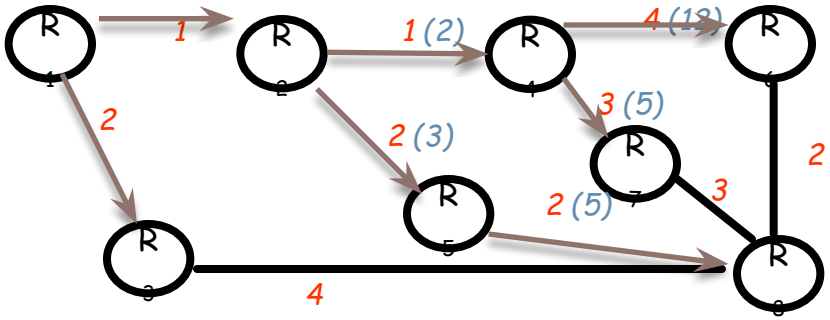
* отсюда и название семейства протоколов “Link State”

Пример работы SPF



Пример работы SPF

Покрывающее дерево, полученное в результате работы SPF на узле R_1.



Куда	Путь	Стоимость
R2	R2	1
R3	R3	2
R4	R2, R4	2
R5	R2, R5	3
R6	R2, R4, R6	12
R7	R2, R4, R7	5
R8	R2, R5, R8	7

LS-протоколы маршрутизации

Описать работу LS-протокола маршрутизации можно так:

- каждый маршрутизатор самостоятельно вычисляет кратчайший путь до остальных узлов сети (машрутизаторов и сетей), используя SPF;
- необходимую SPF информацию о топологии сети маршрутизатор накапливает в процессе обмена с другими маршрутизаторами LS-сообщениями;
- все сообщения LS рассылаются по сети неизменными;
- маршрутизаторы хранят последние версии сообщений LS.

Сравнение алгоритмов Беллмана-Форда и Дейкстры

Bellman-Ford:

(+) простой в реализации

(-) долго реагирует на изменения в сети

(-) проблема счёта до бесконечности

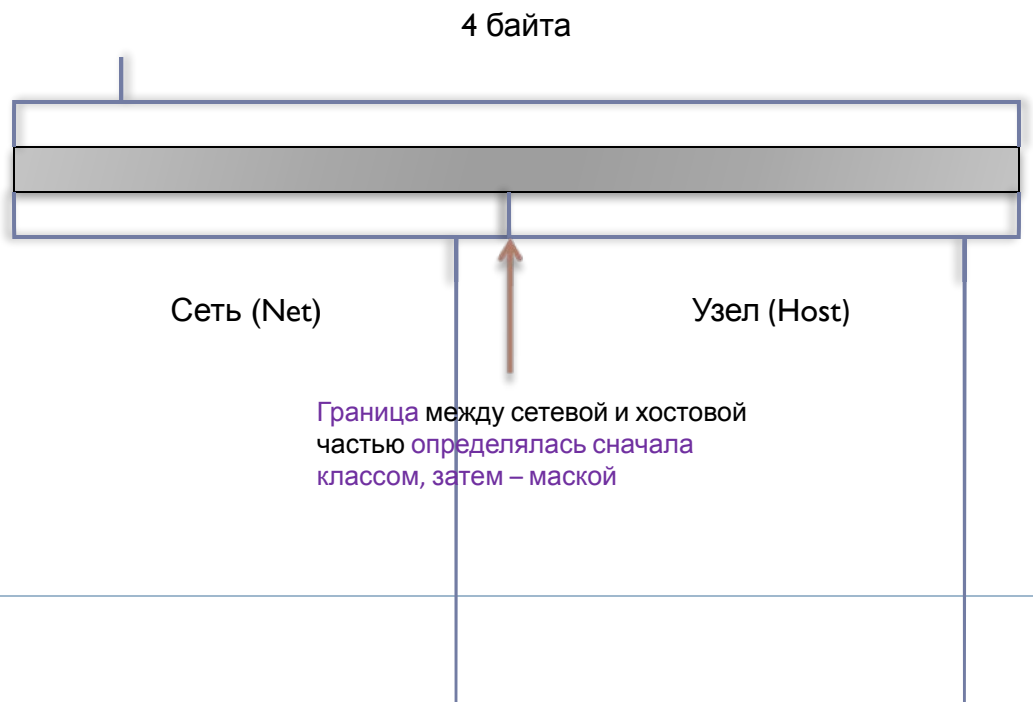
Dijkstra’s SPF:

Адресация в TCP/IP-сетях

- Три типа адресов
  - *Локальные (аппаратные) адреса* узлов в пределах одной из подсетей, объединяемых IP-сетью
    - уникальны в пределах одной такой подсети
    - Пример: MAC-адрес 00-1C-F0-63-16-04
  - *Сетевые адреса узлов IP-сети*
    - уникальны в пределах всей сети
    - Пример: IP-адрес 195.54.14.135
  - *Символьные адреса*
    - используются как удобная для пользователя форма сетевого адреса
    - Пример: доменное имя iit.uio.csu.ru

IP-адресация

- Иерархическая организация адресного пространства
- Длина адреса IPv4 4 байта (32 бита)
  - старшие биты – номер сети
  - младшие биты – номер узлы внутри сети
- Имеются зарезервированные специальные адреса
- Для удобства адреса принято записывать побайтно через точку, например 195.54.2.1



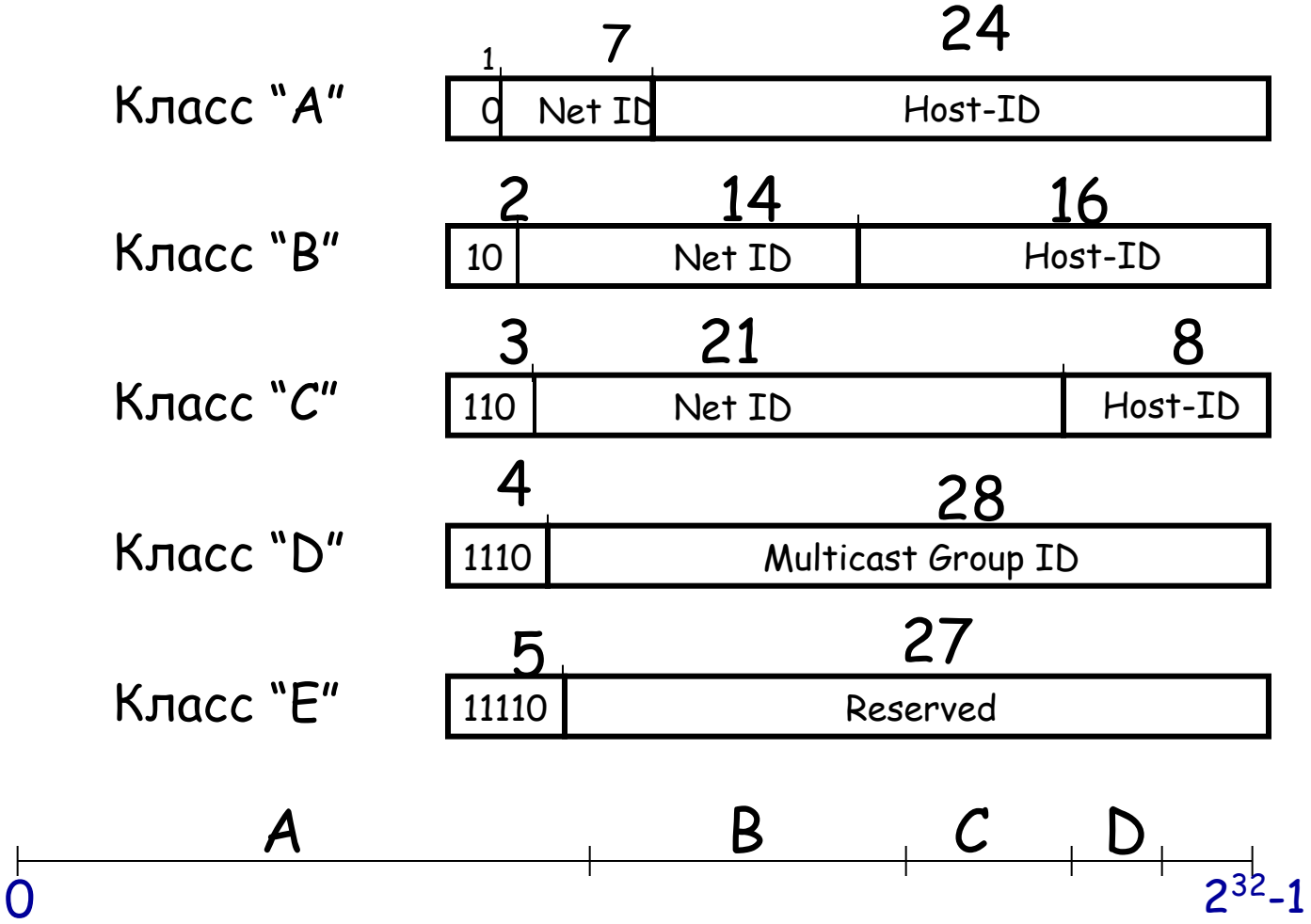
Соглашения о специальных адресах

{ <номер сети>, <номер узла> }

- **{ 0, 0}** - обозначает данный узел (ex. 0.0.0.0)
- **{ 0, <номер узла> }** - узел в данной локальной IP-сети
- **{ <номер сети>, 0 }** - данная IP-сеть (ex. 194.28.0.0)
- **{ <номер сети>, -1 }** - все узлы в указанной IP-сети (ex. 194.28.0.255)
- **{ -1, -1 }** - все узлы в данной локальной сети (ex. 255.255.255.255)
- **{ 127, <любое число> }** – локальная петля (ex. 127.0.0.1)

IP-адрес

Первоначально 5 классов:



Проблема исчерпания адресов IP v4

Варианты решения:

- более эффективно перераспределить существующие
  - как «распилить» классовые сети?
- позволить организациям использовать одни и те же адреса
  - как маршрутизировать?
- изобрести новый протокол (с более длинным адресом)

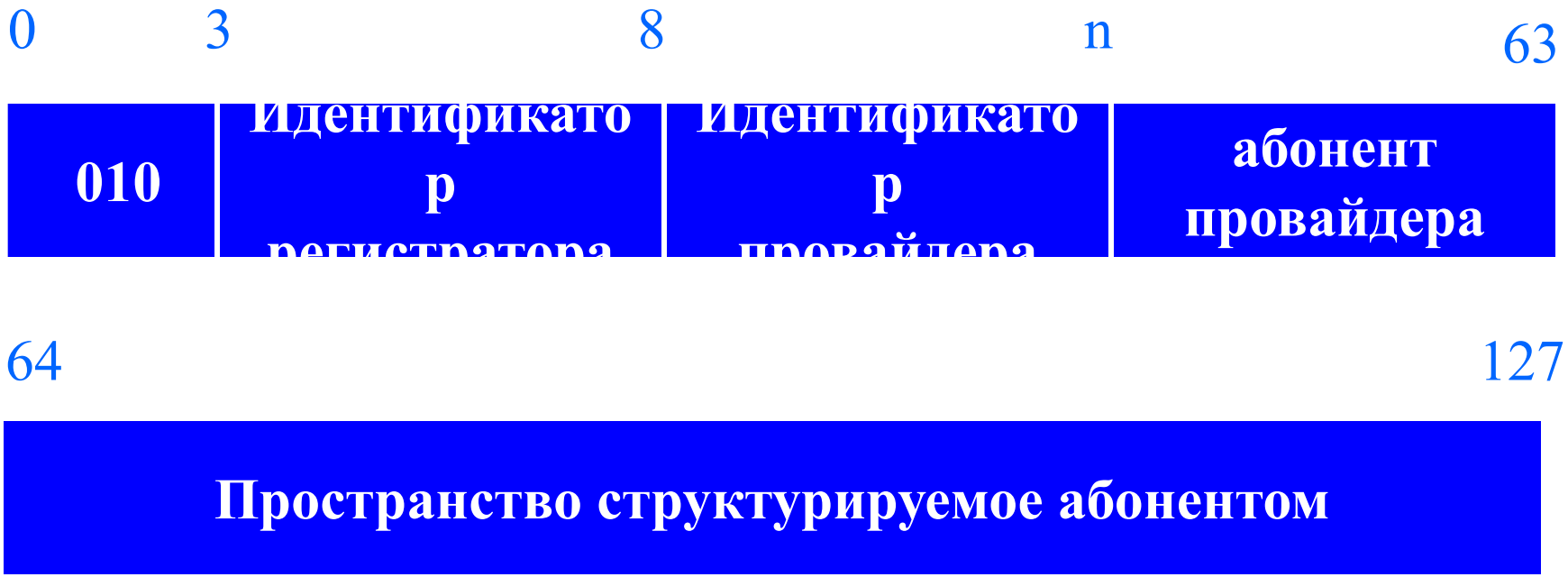
Дальнейшее развитие IP-протокола (IPv6)

RFC-1752
RFC-1826
RFC-1827
RFC-1883
RFC-1885
RFC-1887
* * *

Причины развития:

- Решение проблемы исчерпания адресов IPv4!
- Повышение производительности коммуникационного оборудования
- Появление новых приложений и мультимедиа
- Новые стратегии администрирования

Структура адреса IPv6



RFC 1918

Соглашения о приватных адресах

- Приватные («серые») адреса

  10.0.0.0 - 10.255.255.255

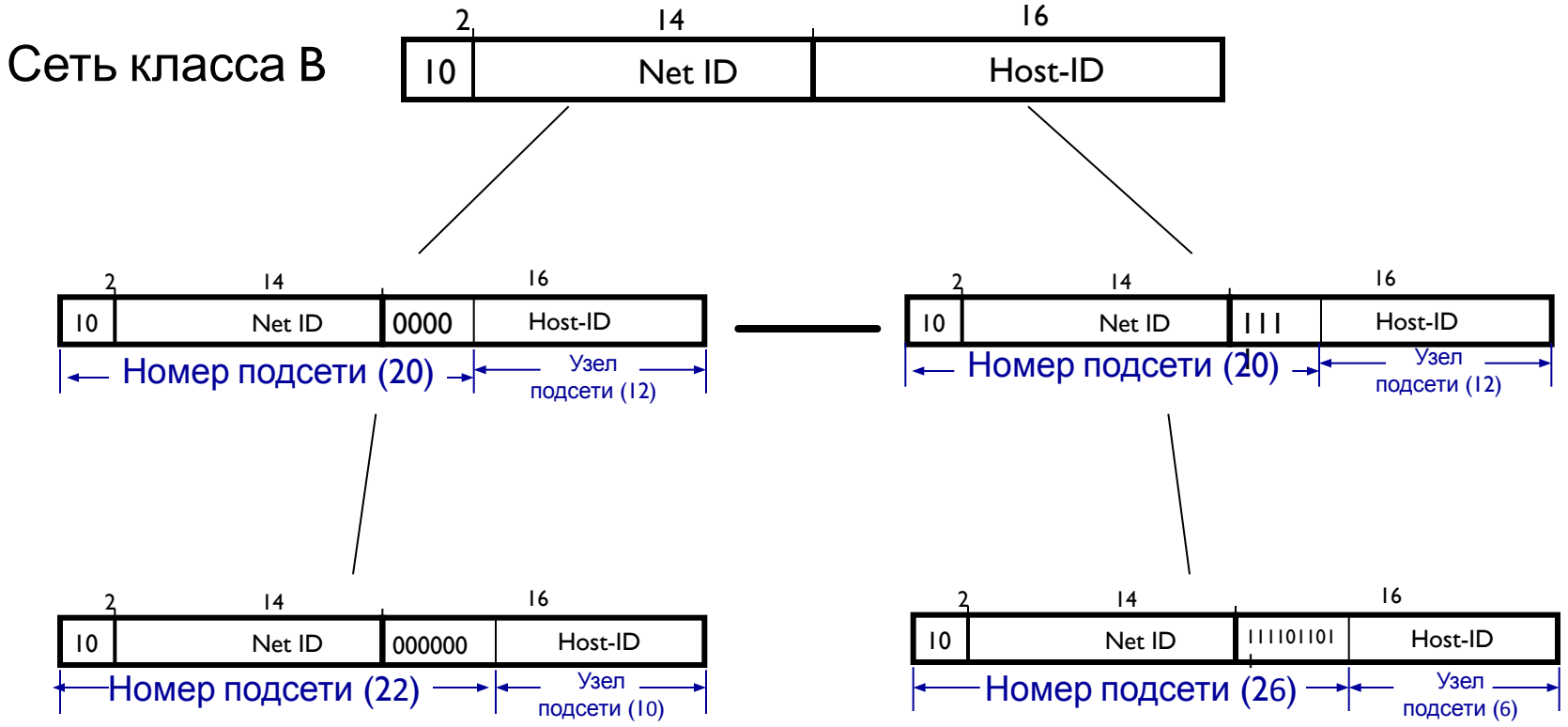
  172.16.0.0 – 172.31.0.0

  192.168.0.0 – 192.168.255.0

- Не маршрутизируются в Internet

Разбиение на подсети (Subnetting)

- Классовые сети делятся на *подсети* (subnets)
- Для отделения сетевой части адреса от части хоста используется маска



Маска подсети

- Позволяет отделить часть адреса с номером сети от части адреса с номером узла

- Является битовой маской для операций
  - выделения части сети

    Net = Address & Mask
  - выделения части хоста

    Host = Address & ~Mask

- Записывается в одном из двух форматах:
  - побайтно, аналогично IP-адресу
    - 255.255.255.0
  - число единиц, начиная от старшего разряда
    - /24

Classless Interdomain Routing (CIDR)

- Пространство адресов IP разделяется на линейные сегменты
- Каждый линейный сегмент описывается *префиксом*
- Префикс имеет вид x/y где x указывает на все адреса линейного сегмента, а y указывает на длину сегмента

<u>Пример:</u>
префикс 128.9.0.0/16 определяет линейный сегмент с адресами в диапазоне: 128.9.0.0 … 128.9.255.255

Classless Interdomain Routing (CIDR)

Агрегация префикса:

- Если провайдер обслуживает две организации, он может агрегировать их адреса с помощью более короткого префикса.
- Маршрутизаторы могут ссылаться на этот префикс, сокращая размер их таблиц маршрутизации.

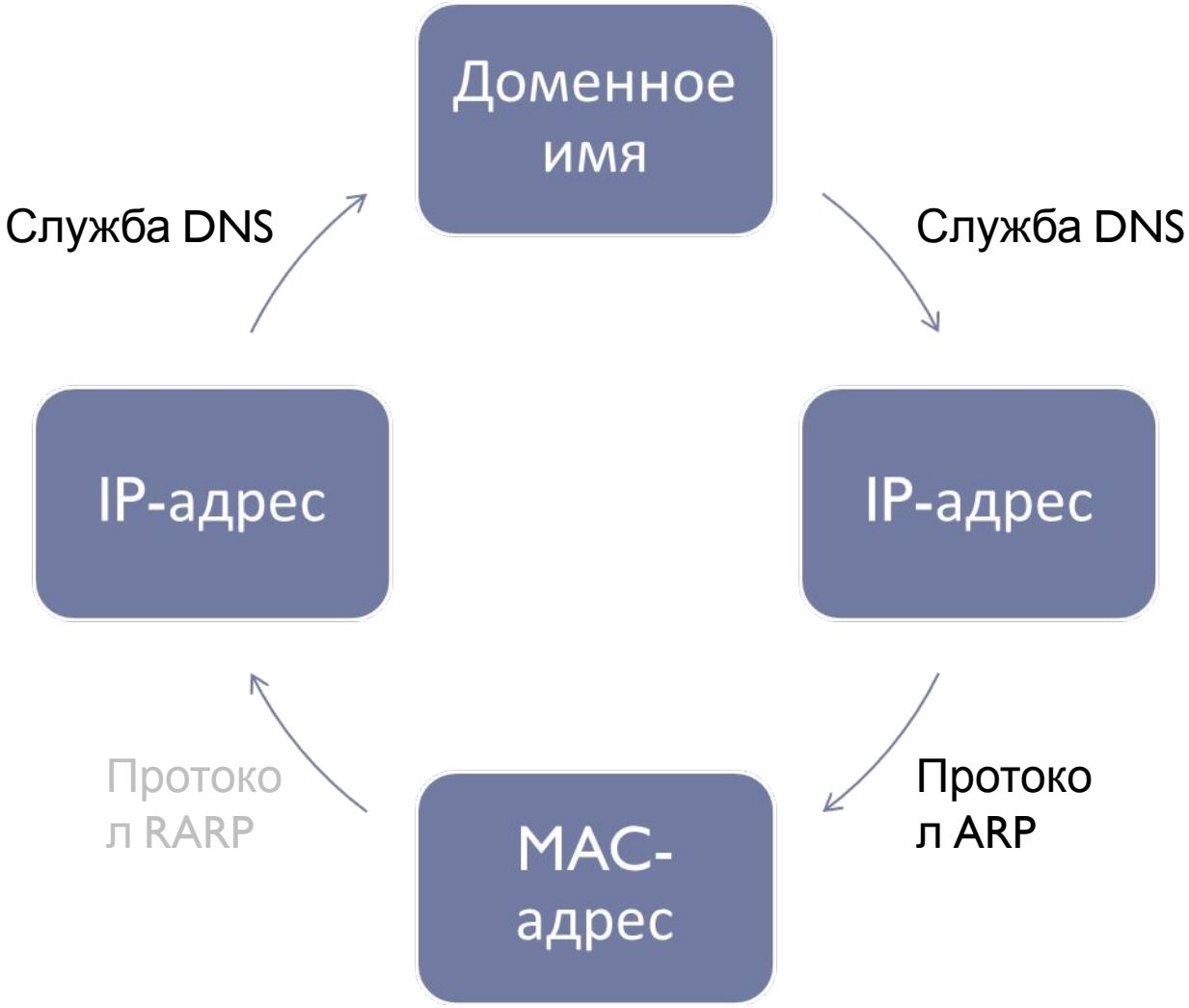
Пример:
При обслуживании 128.9.14.0/24 и 128.9.15.0/24, можно сообщить другим организациям об обслуживании префикса 128.9.14.0/23

Проблема исчерпания адресов IP v4

<u>Варианты решения:</u>

- более эффективно перераспределить существующие
  - как «распилить» классовые сети? □ Subnetting
  - … и не захлебнуться в обилии маршрутов □ CIDR
- позволить организациям использовать одни и те же адреса
  - как маршрутизировать? □ не маршрутизировать
  - … как предоставлять сервисы Internet? □ NAT (чуть позже)
- изобрести новый протокол (с более длинным адресом) □ IP v6

Преобразование адресов



Протокол ARP
(отображения IP-адресов в MAC- адреса)

- Предназначен для установления соответствия между IP- и MAC-адресами для передачи пакетов на уровне звена данных
- Таблица ARP хранить на каждом хосте
- Записи в таблице могут быть статические и динамические
- Статические arp -s <IP адрес> <MAC адрес>
- Динамические существуют определенное время (устаревают)

Протокол отображения IP-адресов в Ethernet-адреса (ARP)

RFC-826
RFC-903
RFC-1027

Порядок работы ARP

1. Производится попытка преобразования при помощи ARP таблицы
2. При отрицательном результате по сети посылается широковещательный запрос
3. Все узлы сети принимают запрос и производят сверку своего IP-адреса с IP-адресом указанным в запросе
4. Соответствующий узел посылает на MAC-адрес отправителя ответ, указывая свой MAC-адрес

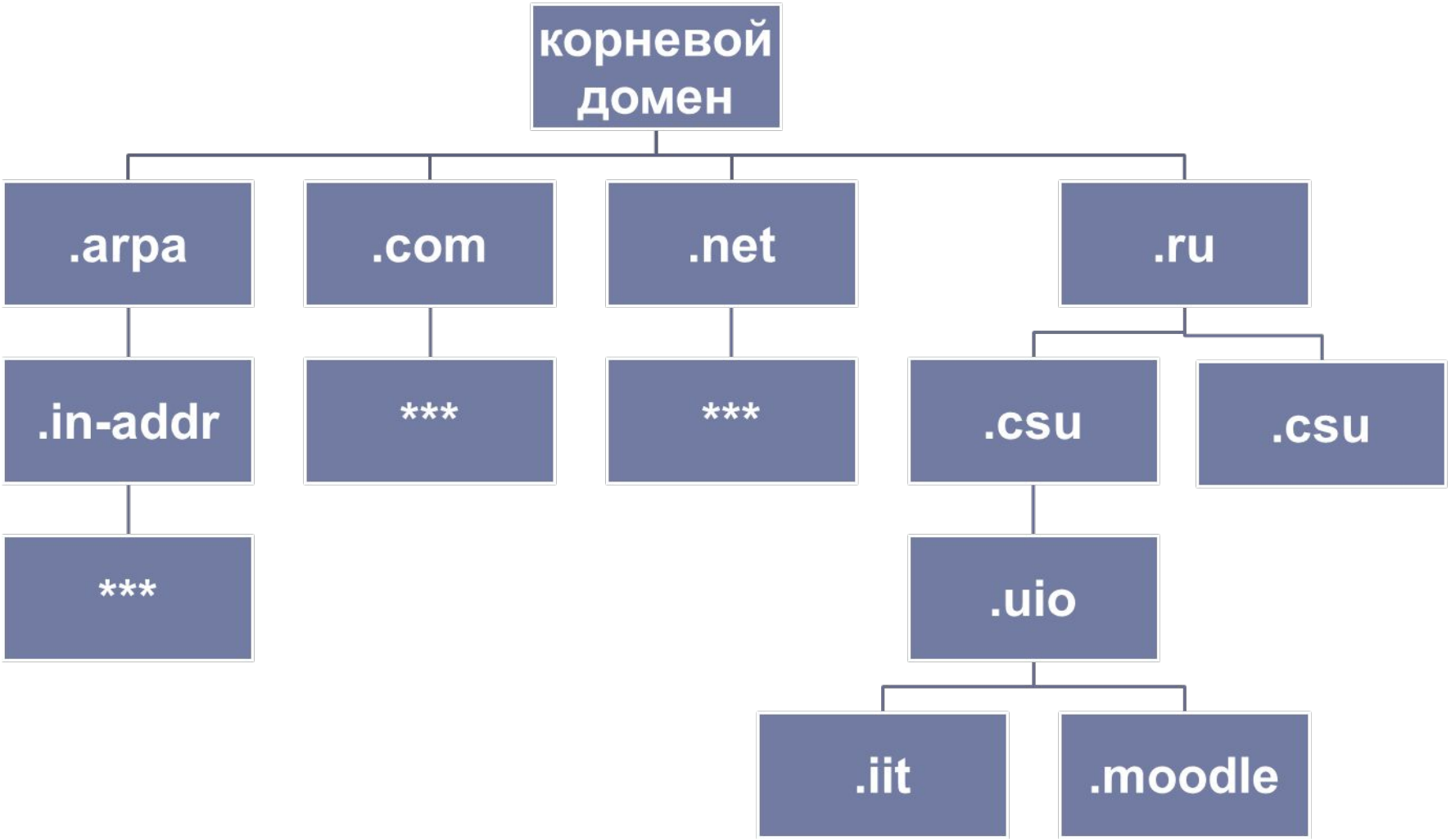
RFC 1034
RFC 1035

Служба DNS

- Представляет собой универсальное средство разрешения имен
- Является распределенной базой данных
- Позволяет разделить полномочия администраторов DNS

.com	Коммерческие организации
.edu	Образовательные организации
.gov	Правительственные организации
.int	Международные организации
.org	Любительские организации

Структура DNS



Компоненты DNS

- Пространства имен домена и записи базы данных (зоны DNS)
- Серверы имен
  - Обслуживают зоны DNS, предоставляют их содержимое другим серверам и программам разрешения имён
  - Обслуживает обращения в *итеративном* или *рекурсивном* режиме
- Клиентская служба разрешения имен
  - Часть операционной системы узла, предоставляющая другим программам возможность разрешения имён, реализуя взаимодействие с серверами имён

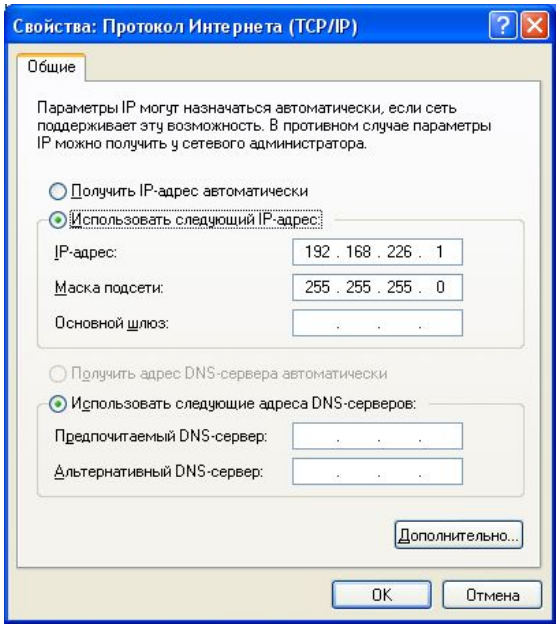
Примеры адресов разных уровней OSI

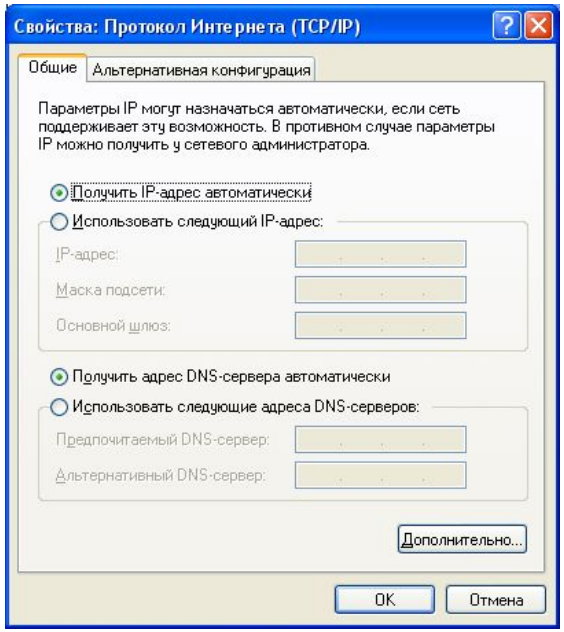
Прикладной
Представительский
Сессия
Транспортный
Сетевой
Звено данных
Физический

- L4-адрес
  - идентификатор точки входа в вычислительный процесс (srcip,srcport,dstip,dstport)
- L3-адрес
  - IP-адрес
- L2-адрес
  - MAC-адрес
  - номер канала (LLC)
- L1-адрес
  - Номер кабеля («прямой»)
  - Частота несущей

Назначение адресов

- IP-адреса могут назначаться узлам
  - Статически
  - Динамически (протокол DHCP)

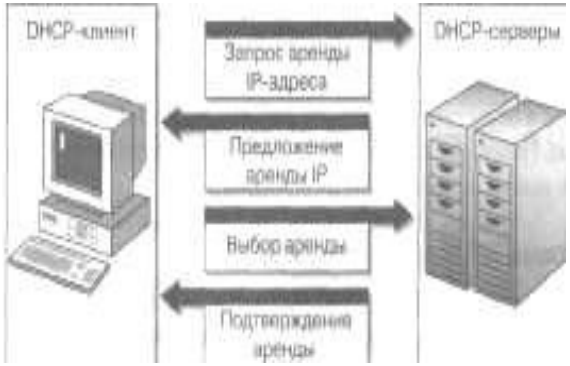




RFC-1531
RFC-1541

Протокол DHCP

- Позволяет удаленно настраивать большое число рабочих станций для работы в IP-сетях
- Является средством централизованного
  - хранения информации о конфигурации TCP/IP
  - предоставления её узлам сети в виде DHCP-опций (options)
- Состоит из двух компонентов
  - DHCP-сервер
  - DHCP-клиент



Протокол IP

- Выполняет две основные функции:
  - Адресация
  - Фрагментация дейтаграмм
- Взаимодействует непосредственно с протоколами канального уровня
- Определяет маршрутизацию данных по сети до точки назначения или промежуточного шлюза
- Обрабатывает каждую дейтаграмму как независимую от других единицу данных
- Не гарантирует доставку, достоверность данных

Формат заголовка IP-пакета

Version	IHL	T of S	Total length (max_{rec}<=576bytes)	
Identification			Flags	Fragment offset
Time to live	Protocol		Header checksum	
Source address				
Destination address				
Options				Padding

RFC 1349

Поле Type of service

приоритет	D	T	R	C	не используется

- 0 - Обычный уровень
- 1 - Приоритетный
- 2 - Немедленный
- 3 - Срочный
- 4 - Экстренный
- 5 - CEITIC/ECP
- 6 – межсетевое управление
- 7 - сетевое управление

- D - Минимальная задержка
- T - Высокая пропускная способность
- R - Высокая надежность
- C - Низкая стоимость

Поле Flags

0	DF	MF

- =0 : можно фрагментировать
- =1 : не фрагментировать

- =0 : последний фрагмент
- =1 : есть следующий фрагмент

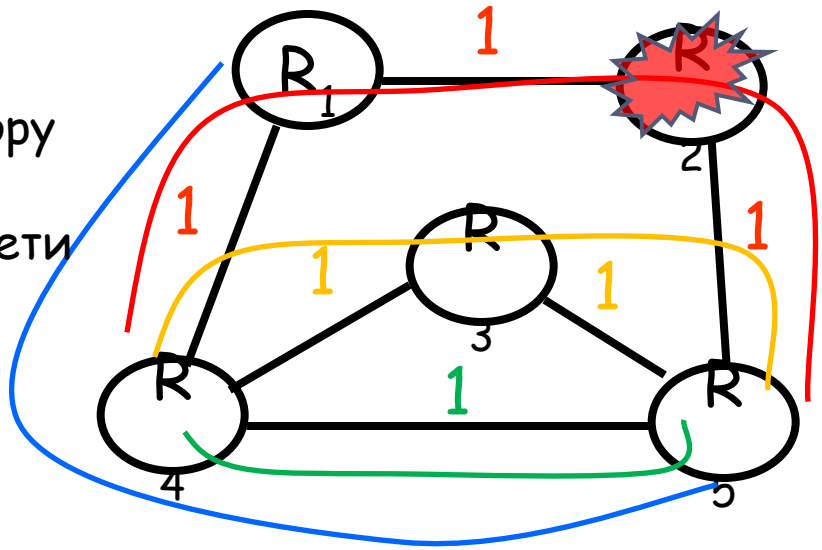
Маршрутизация в IP-сетях

- Применяемые типы маршрутизации
  - Статическая
  - Динамическая с использованием различных протоколов маршрутизации

Протоколы маршрутизации

- Определяют:
  - используемый алгоритм маршрутизации;
  - способы и правила представления и обмена информацией, необходимой для работы алгоритма маршрутизации.

Как маршрутизатору реагировать на происходящие в сети изменения?



Виды протоколов маршрутизации. Примеры реализаций

- Дистанционно-векторные (Distance Vector, DV)
  - на основе распределённого варианта алгоритма Беллмана-Форда
    - RIP v1 и v2 (IETF)
- По состоянию связи (Link State, LS)
  - на основе распределённого варианта алгоритма Дейкстры
    - IS-IS (ISO)
    - OSPF (IETF)
- «Гибридные» aka Loop-free DV
  - на основе алгоритма DUAL
    - EIGRP (Cisco)
- По вектору пути (Path Vector, PV)
  - разновидность DV, передающие не только стоимость пути, но и сам путь
    - BGP (IETF)

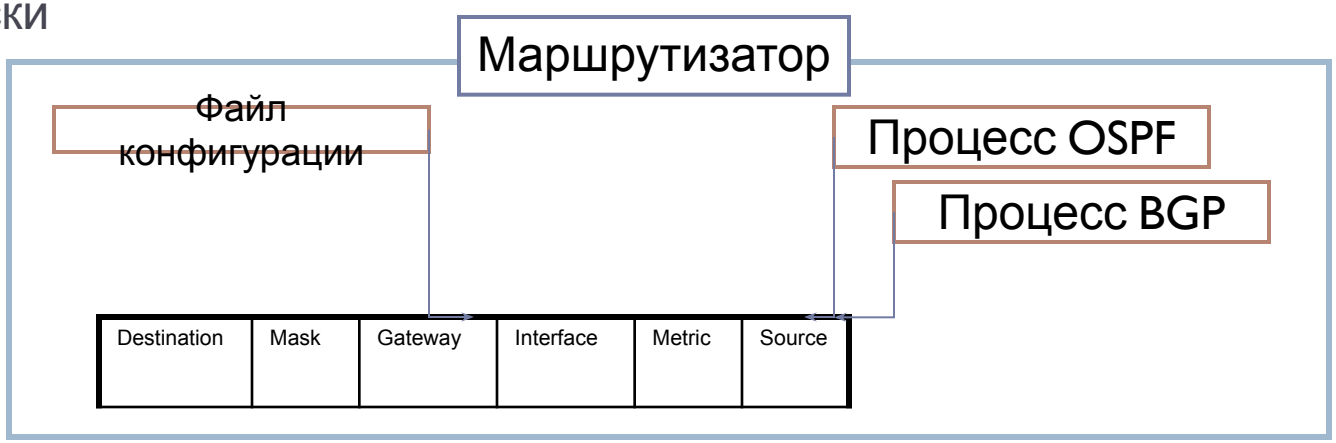
Таблица маршрутизации

- Является источником информации для выбора направления дальнейшей пересылки пакета

Destination	Mask	Gateway	Interface	Metric	Source

Префикс

- Может заполняться
  - вручную
  - динамически



Пример таблицы маршрутизации

Destination	Gateway	Mask	Interface	Metric	Source
0.0.0.0	198.21.17.7	0.0.0.0	le0	1/1	Static
198.21.17.0	*	255.255.0.0	le0	0/0	Conn
213.34.12.0	*	255.255.255.0	le1	0/0	Conn
129.13.0.0	198.21.1.6	255.255.0.0	le0	1/1	Static
56.0.0.0	213.34.12.4	255.0.0.0	le1	120/1	RIP
116.0.0.0	213.34.12.4	255.0.0.0	le1	1/1	Static

RFC 792

Диагностика сети: протокол ICMP
(Internet Control Message Protocol)

- Разработан для передачи сообщений проблемах, возникших при доставке IP-дейтаграмм сетью
- Простейшее управление потоком – ICMP Source Quench (Type = 4)
- Использует IP в качестве транспорта

Type	**Code**	**Checksum**
Content depends on Type & Code		
…		

- *ping* и *traceroute* используют ICMP
  - Echo-request (Type = 8)
  - Echo-reply (Type = 0)
  - Time Exceeded (Type = 11)
  - и другие.