

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

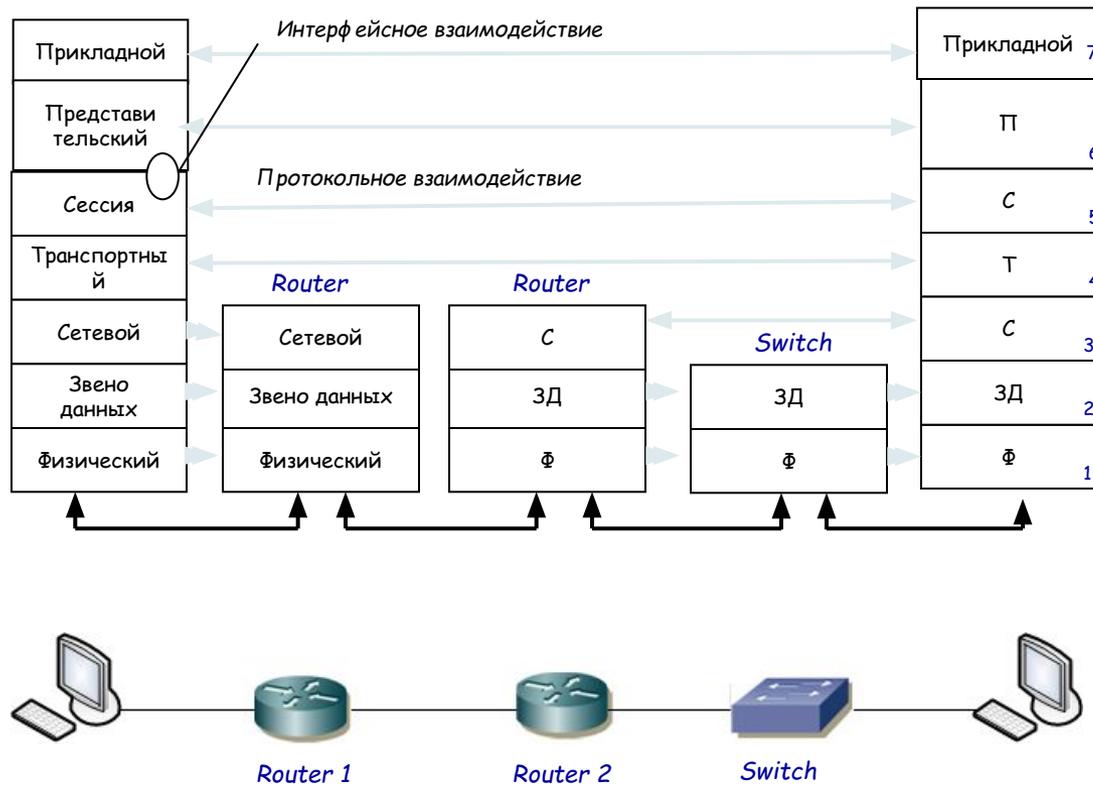
Прикладно й
Представи тельный
Сессия
Транспортн ый
Сетевой
Звено данных
Физический

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



Маршрутизатор

Маршрутизатор (Router)

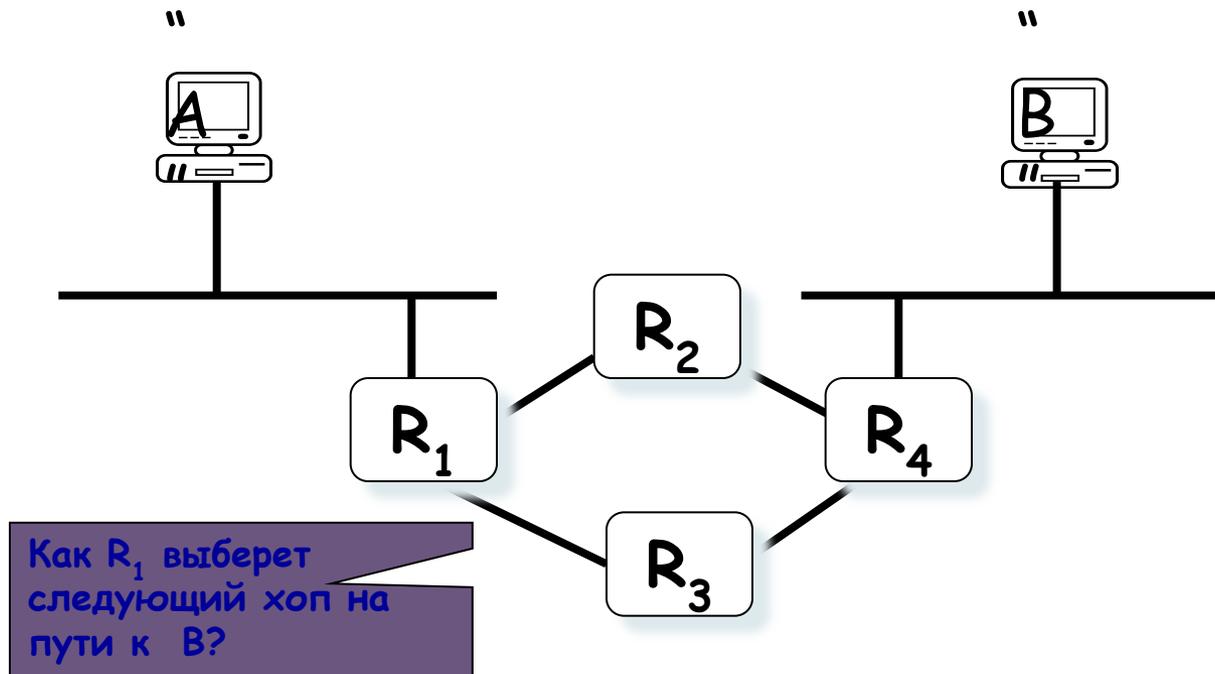


Сколько здесь сетей?

Маршрутизация (routing)

Процессы:

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



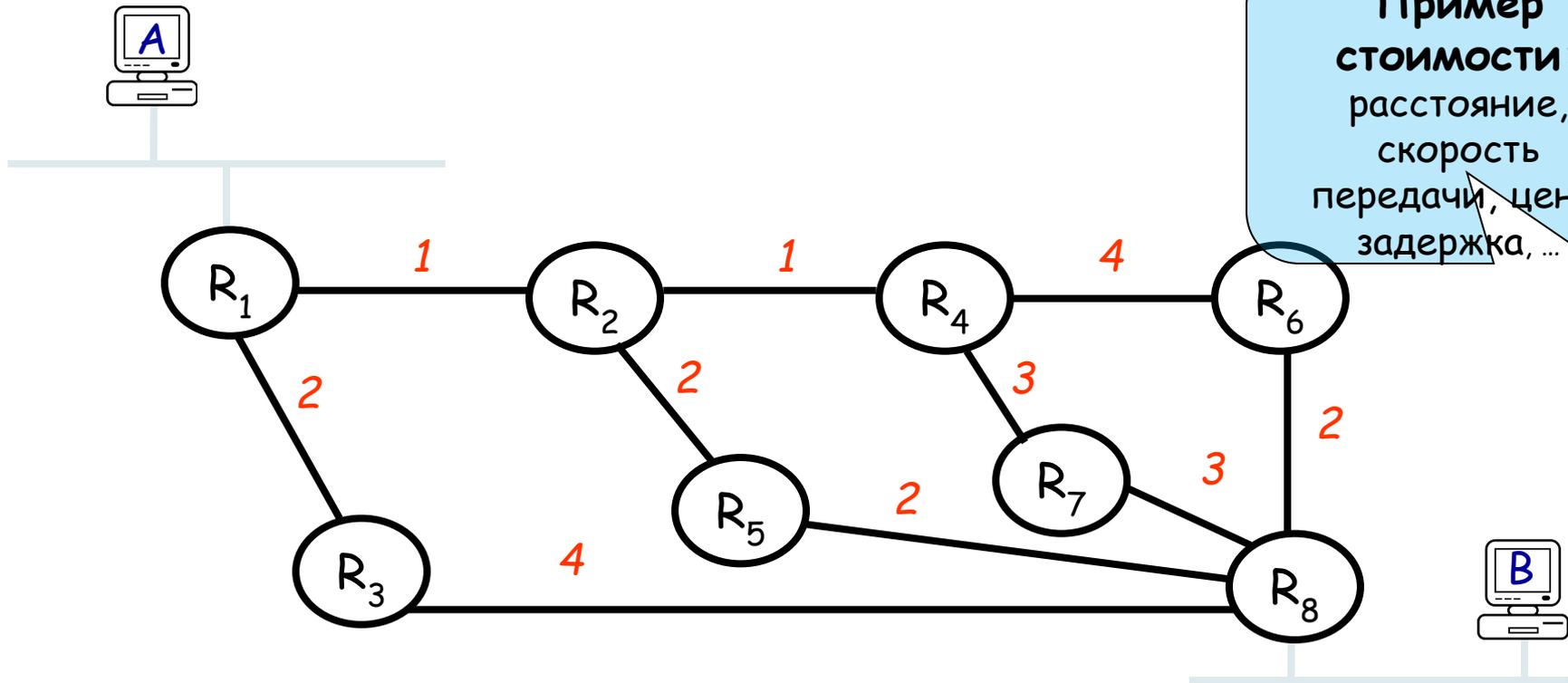
Типы маршрутизации

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



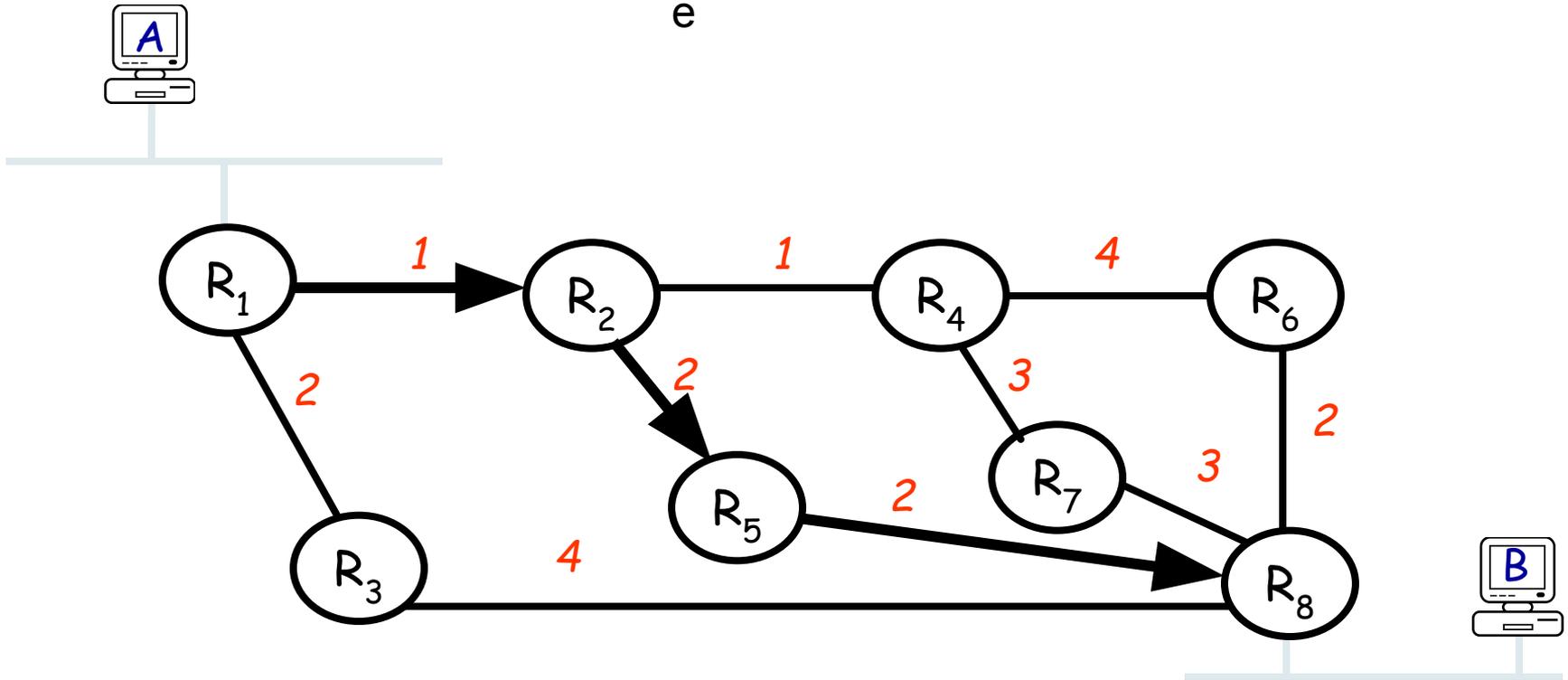
Пример сети

Задача: найти путь от А к В который минимизирует стоимость пути.



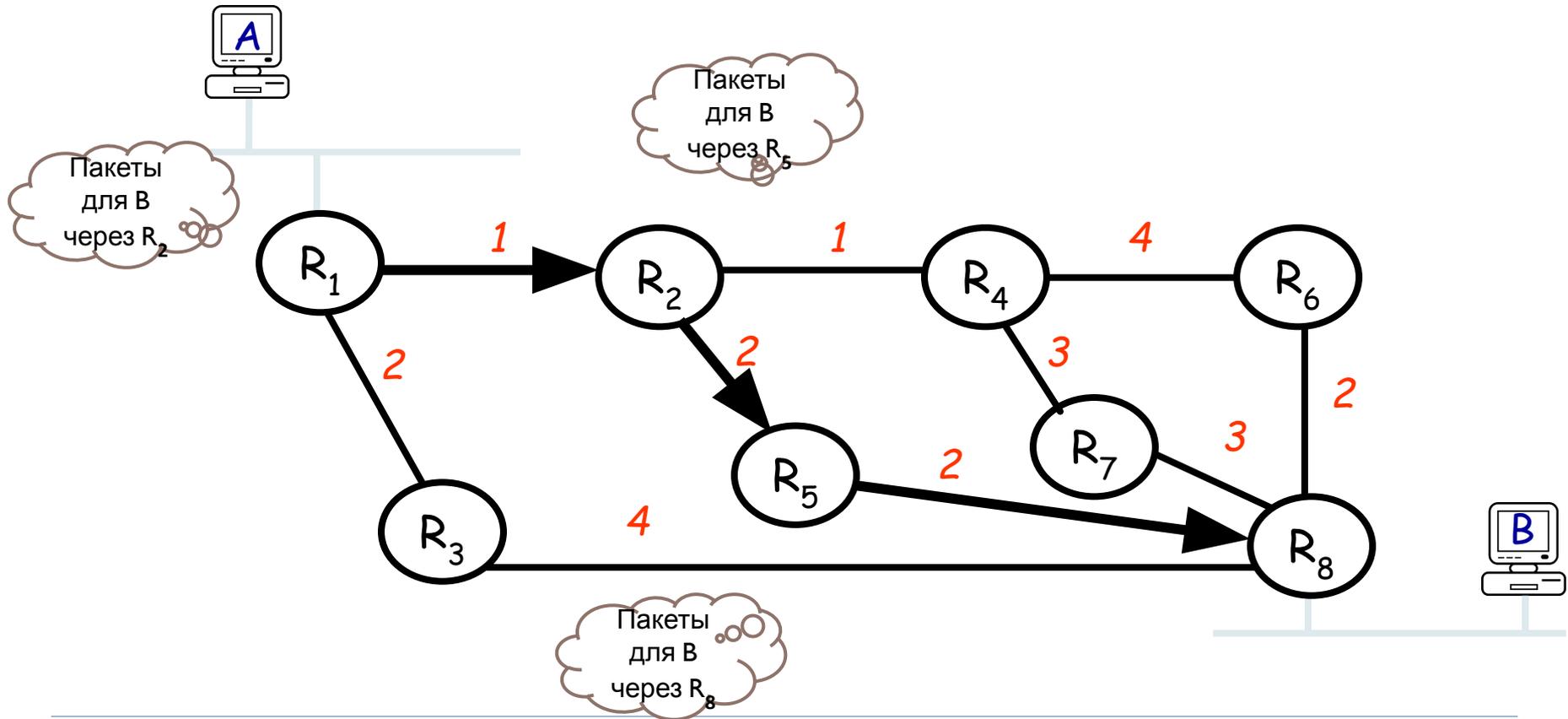
Пример сети

Решени
е



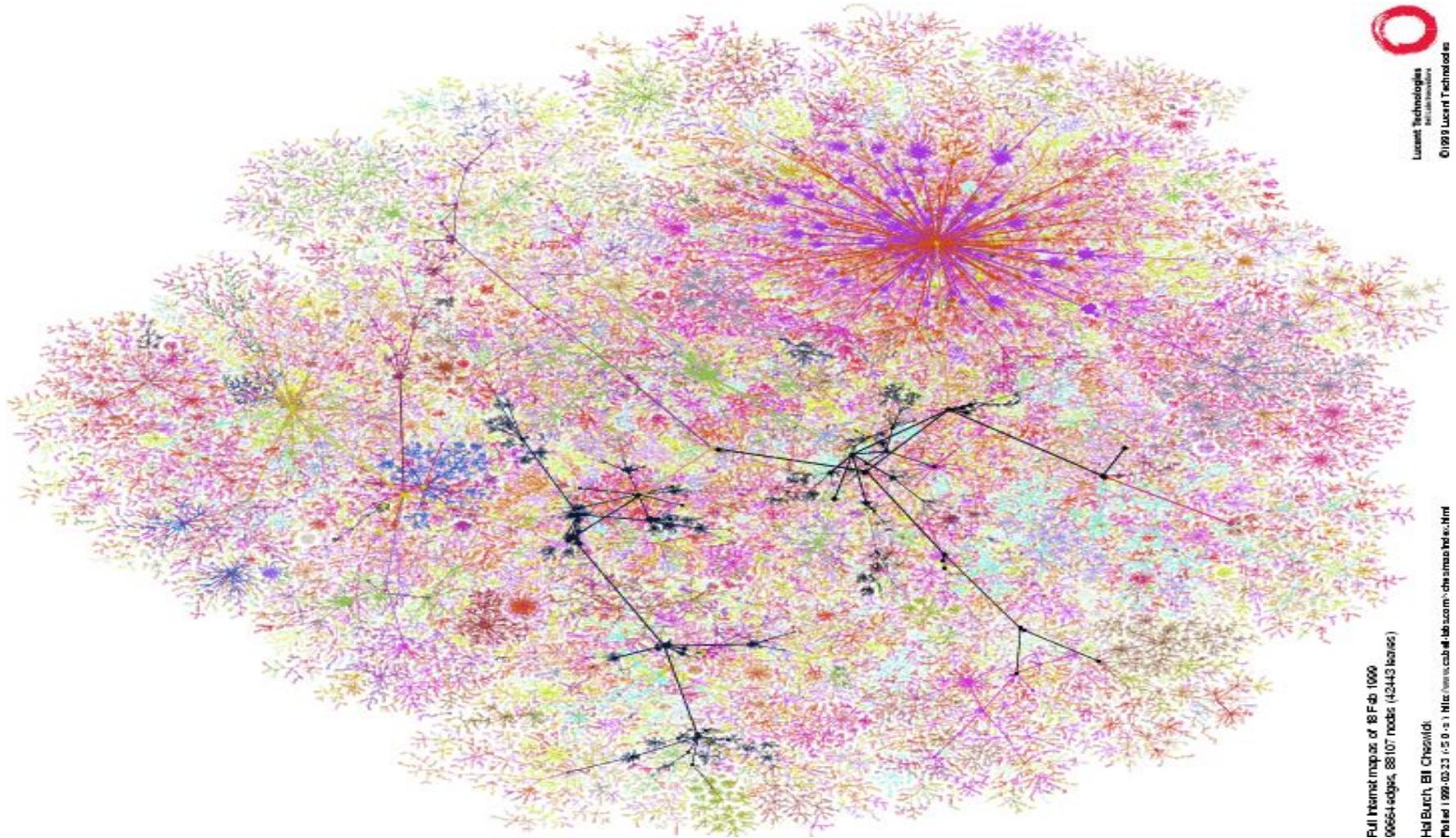
Статическая маршрутизация

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



А как быть с такой сетью...!?

Internet в 1999



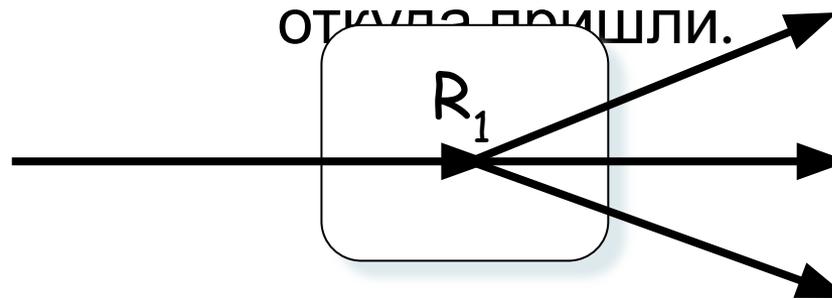
Full Internet map as of 18-Feb-1999
90664 edges, 88107 nodes (43443 leaves)

Hil Burch, Eli Chenidid

Posted: 1999-02-23 1:50:31 <http://nic.funix.cba.tlab.com/~chenidid/e.html>

Лавинный алгоритм

Пакеты передаются во все направления, кроме тех,



Преимущества:

- простота;
- любой узел сети доступен.

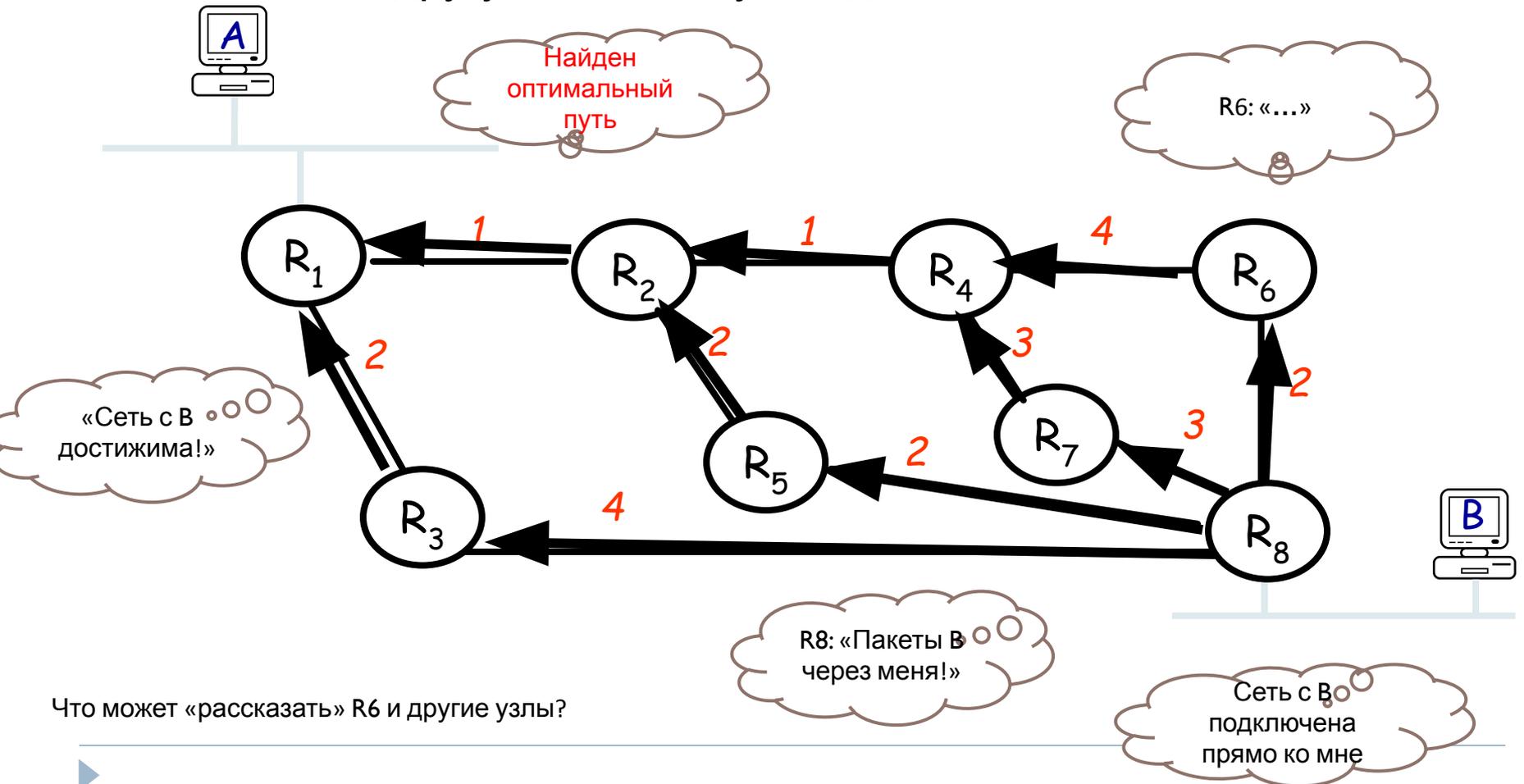
Недостатки:

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



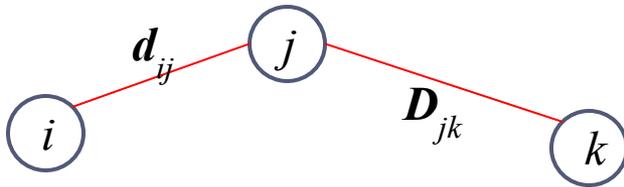
Динамическая маршрутизация

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



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 :

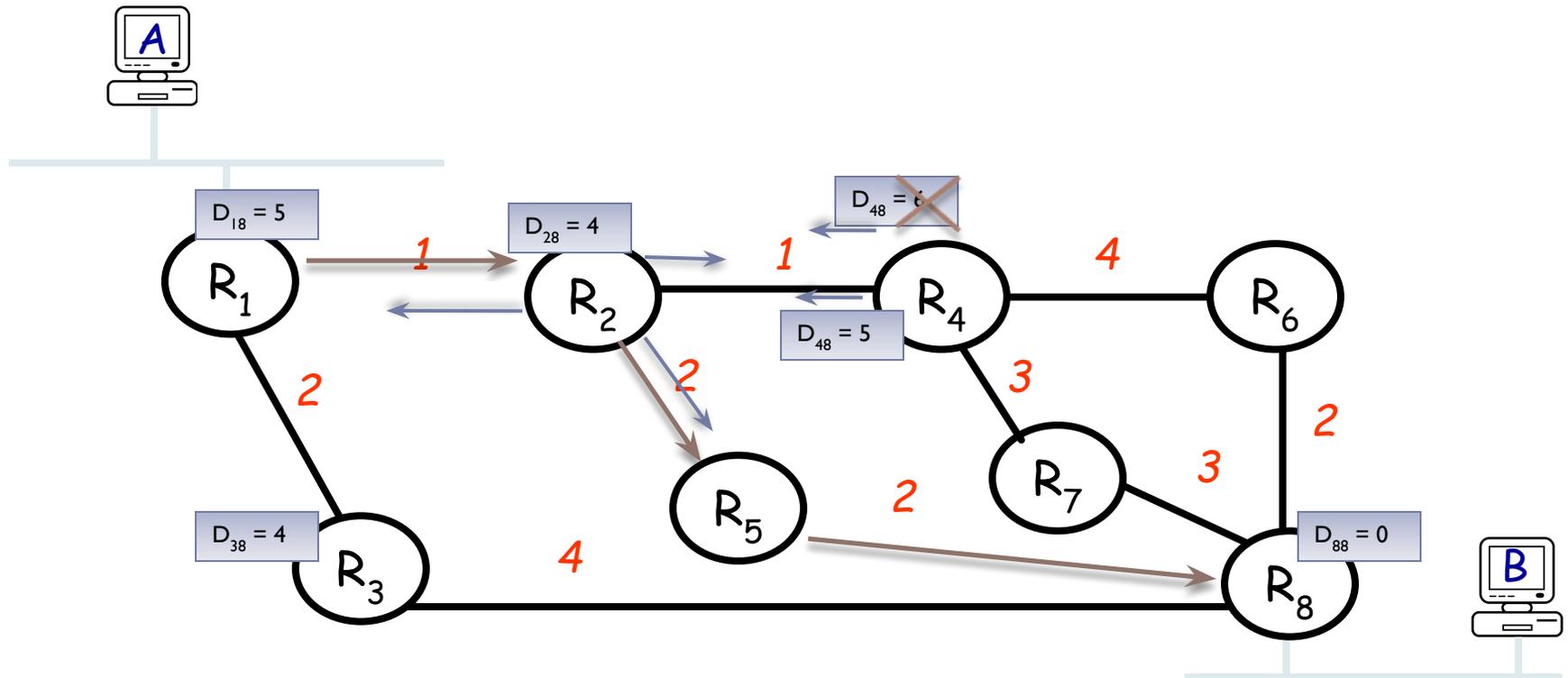
1. $D_{ii} = 0; D_{ij} = \infty;$

2. $D_{ii} = \min \{d_{ik} + D_{kj}\}, i \neq j,$
k подключен к i

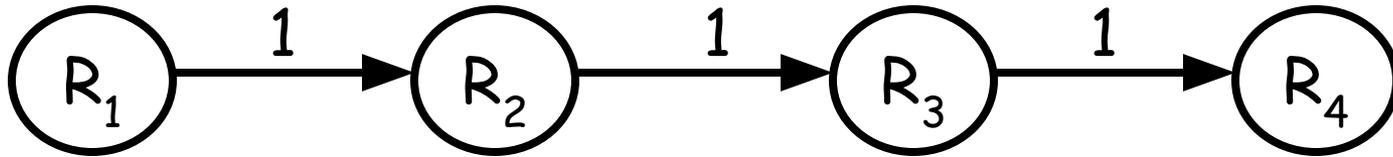
Периодически повторяется

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

Пример сети



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 $R_3 \rightarrow R_4$

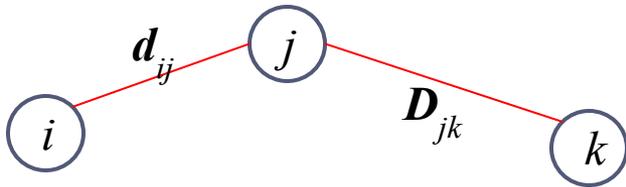
Решение:

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. Найми $k \in C$, такое что $D_{ik} = \min_{m \in C} D_{im}$;

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

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

Закончить, если C пусто.

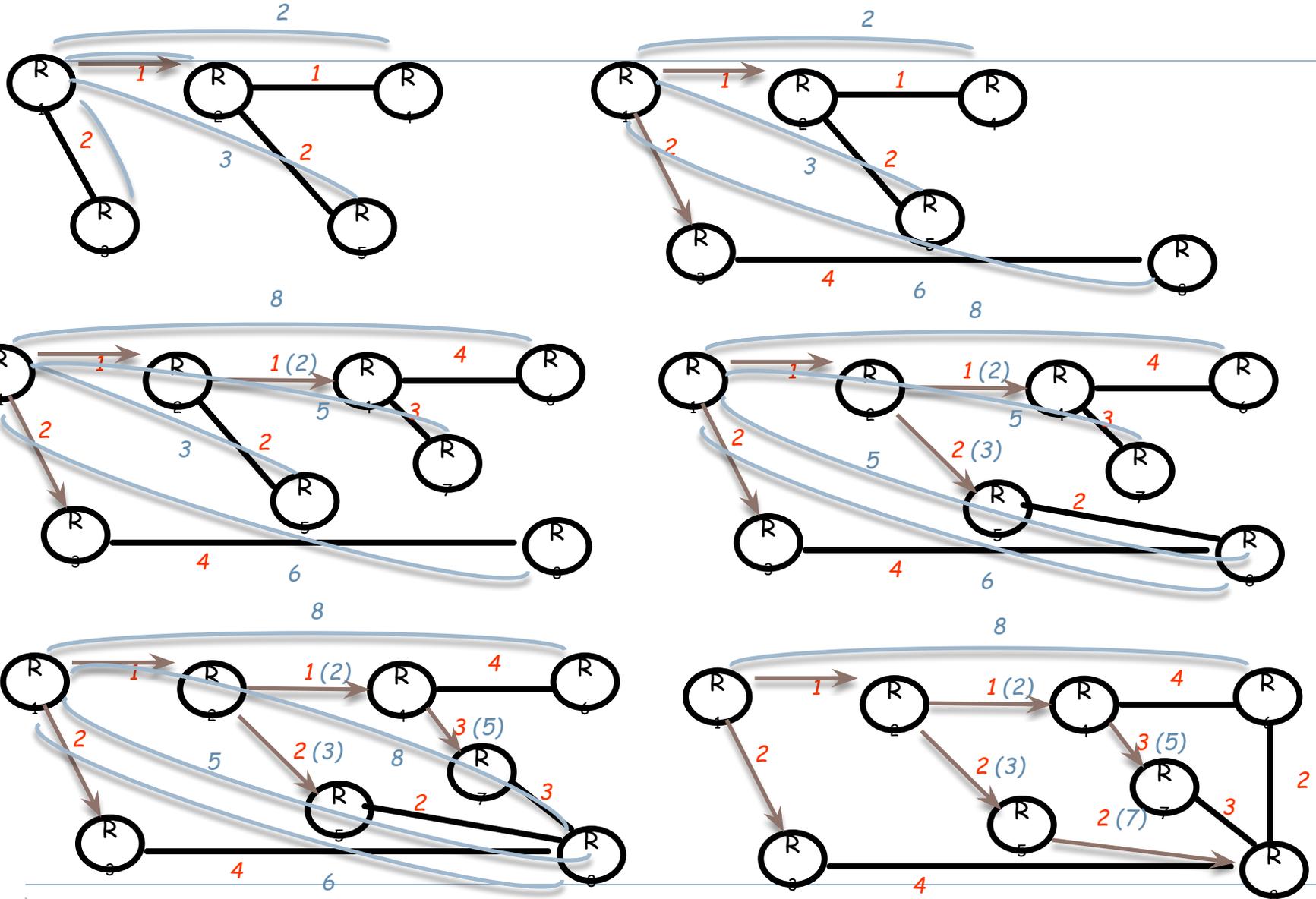
3. Для $j \in N_k \cap C$ пересчитать D :

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

Перейти к шагу 2.

* отсюда и название семейства протоколов “Link State”

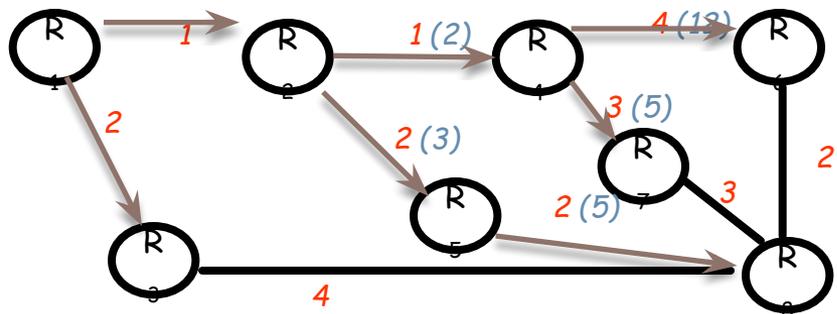
Пример работы SPF



Пример работы SPF

Покрывающее дерево, полученное в результате работы SPF на узле

R₁.



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 (маршрутизаторов 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 ТСР / 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

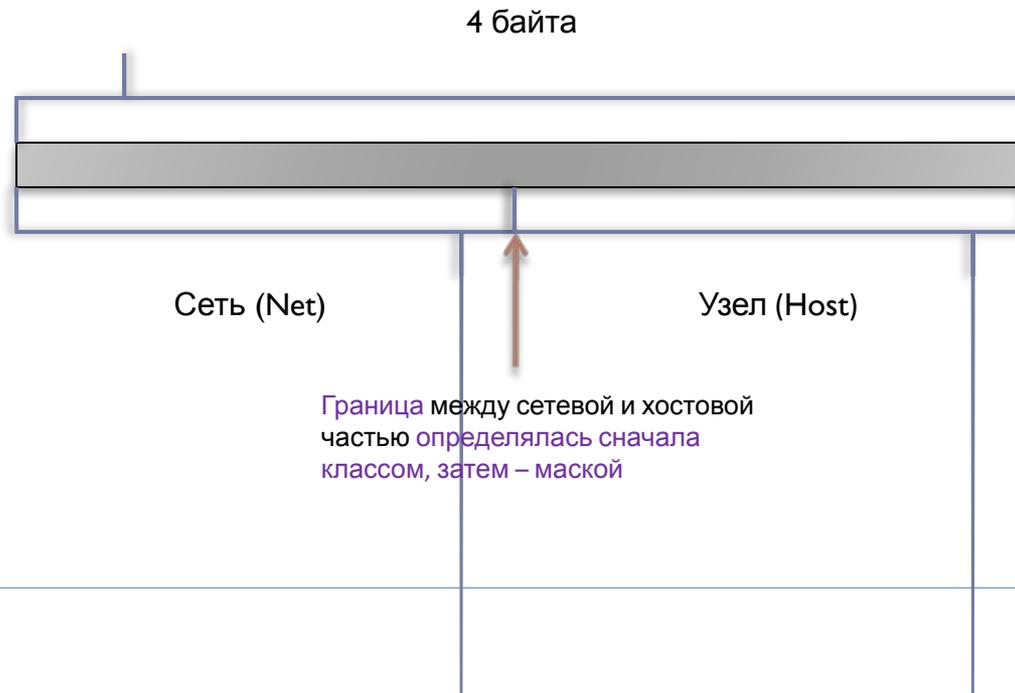
□ *Символьные адреса*

- 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

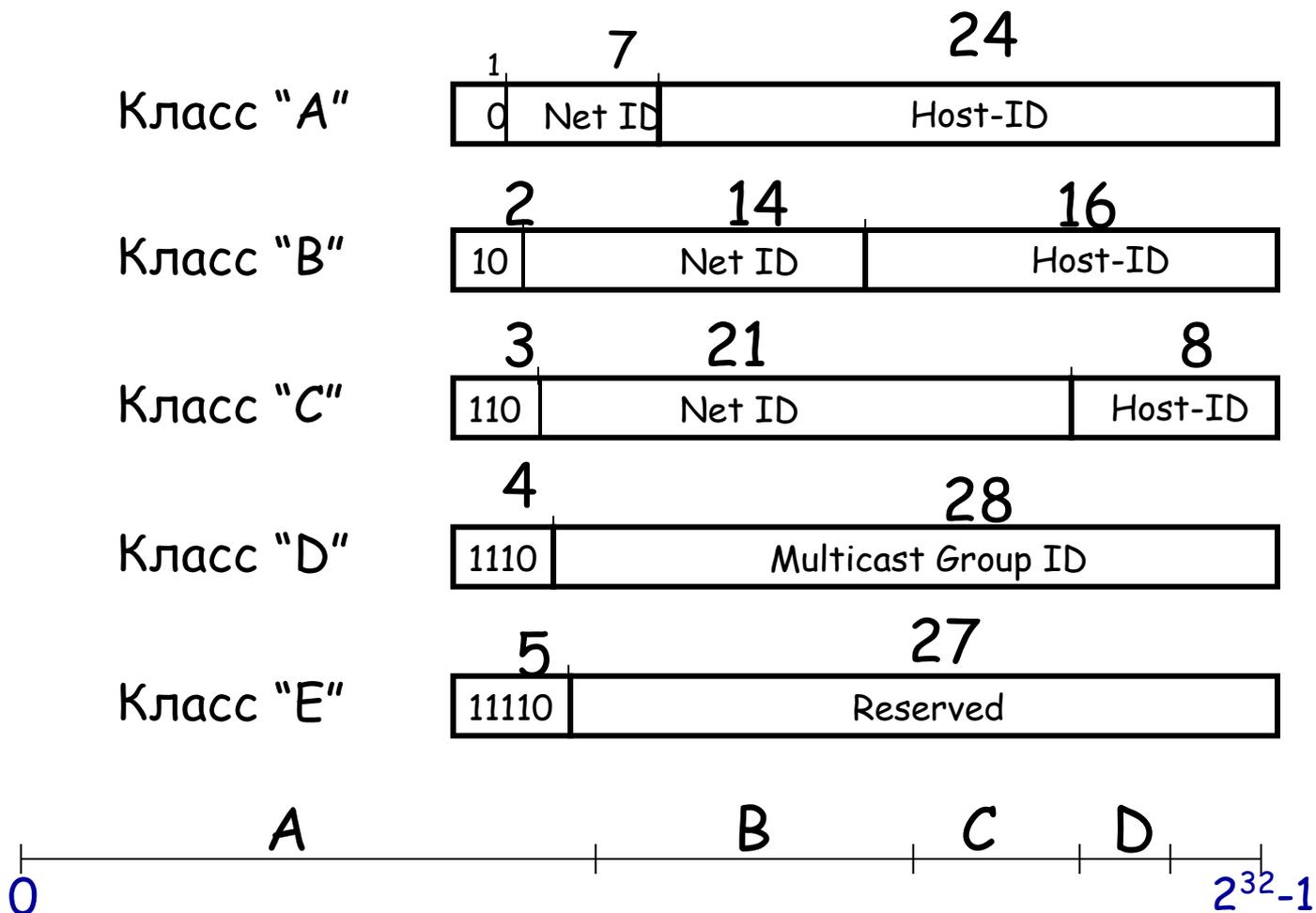
{ <номер сети>, <номер узла> }

- ▣ { 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



Соглашения о частных адресах

- **Частные («серые») адреса**

 - 10.0.0.0 - 10.255.255.255**

 - 172.16.0.0 – 172.31.0.0**

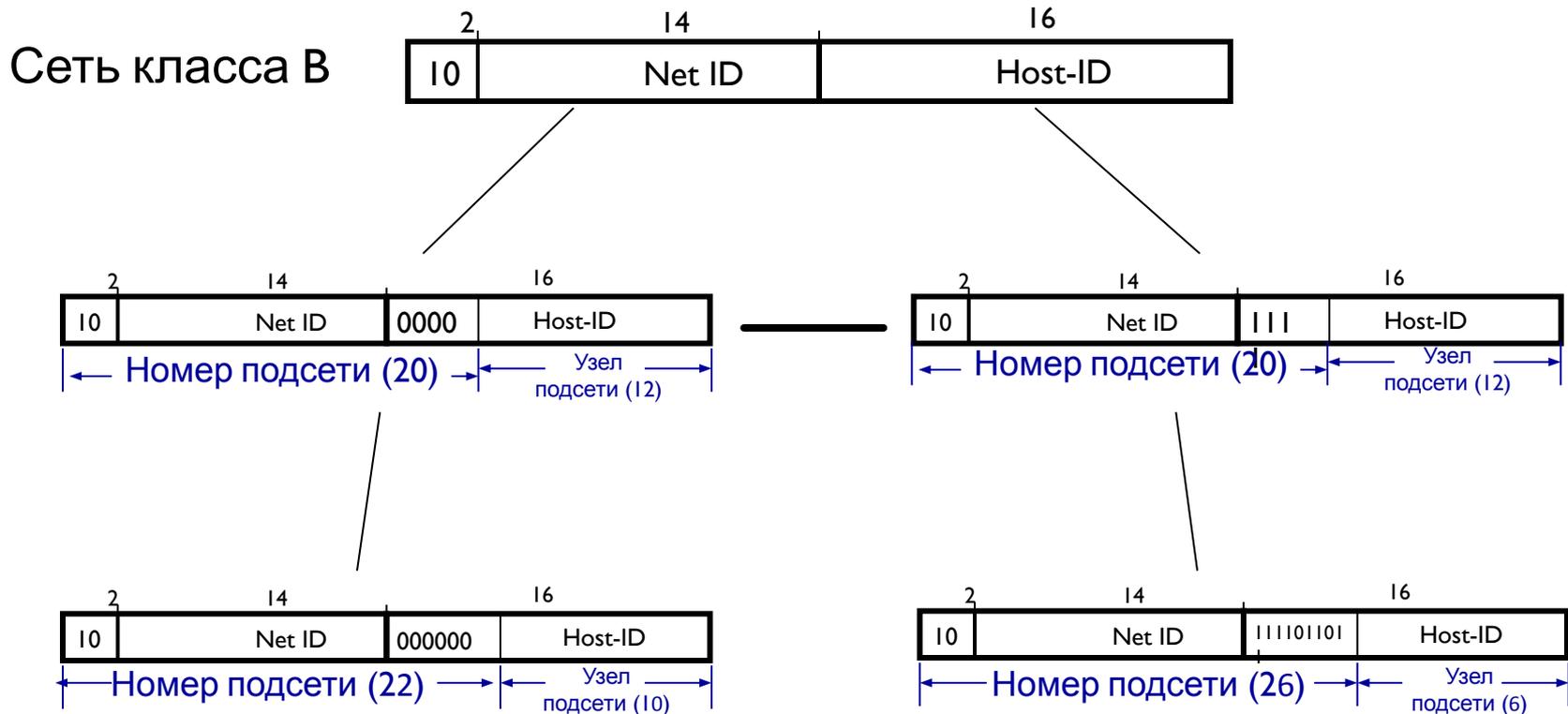
 - 192.168.0.0 – 192.168.255.0**

- **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
 $\text{Net} = \text{Address} \& \text{Mask}$
 - выделения части хоста
 $\text{Host} = \text{Address} \& \sim\text{Mask}$
- 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

Пример:

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

Варианты решения:

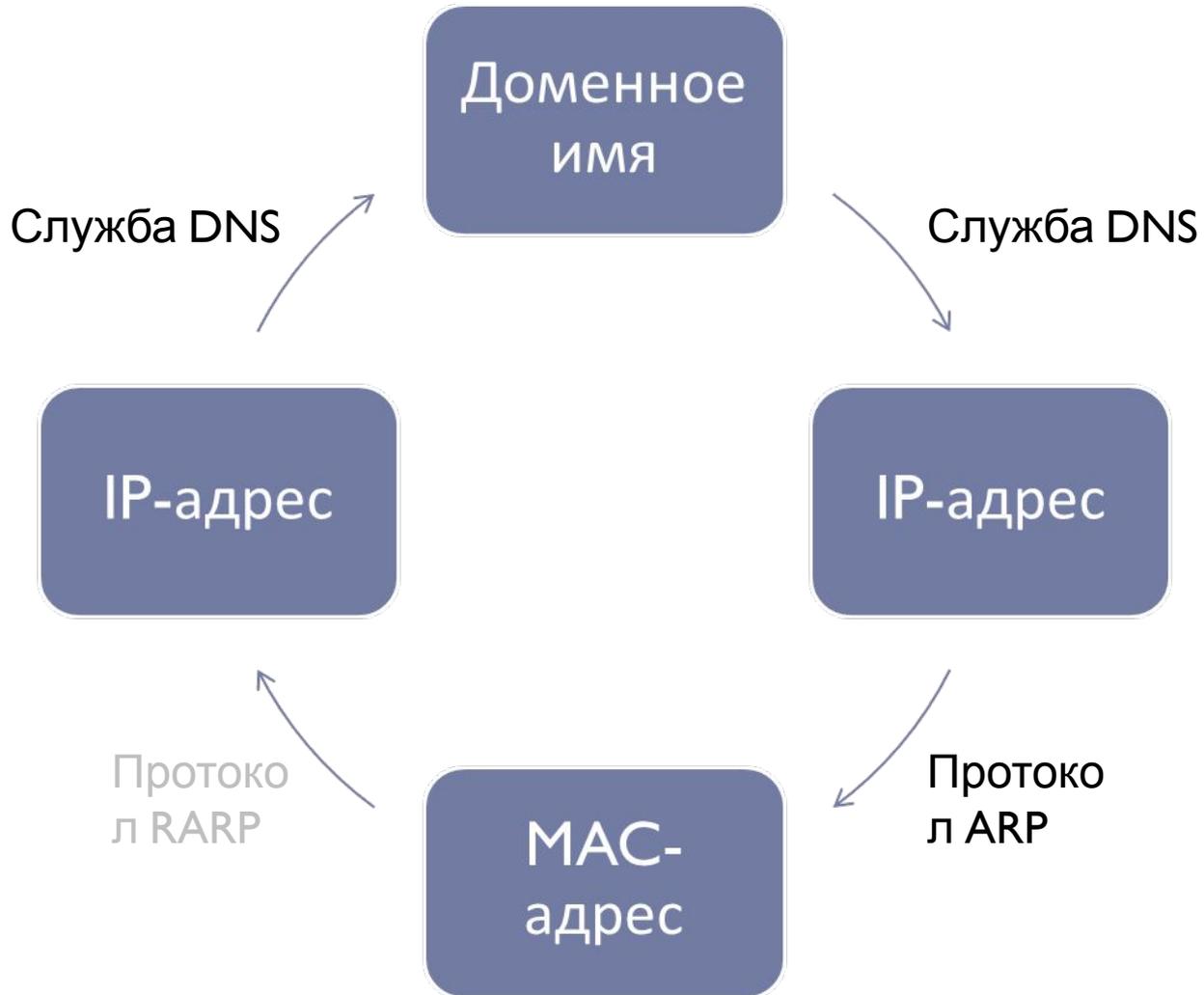
- ✓ более эффективно перераспределить существующие
 - ✓ как «распилить» классовые сети? □ **Subnetting**
 - ✓ ... и не захлебнуться в обилии маршрутов □ **CIDR**

- ✓ 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 храниться 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



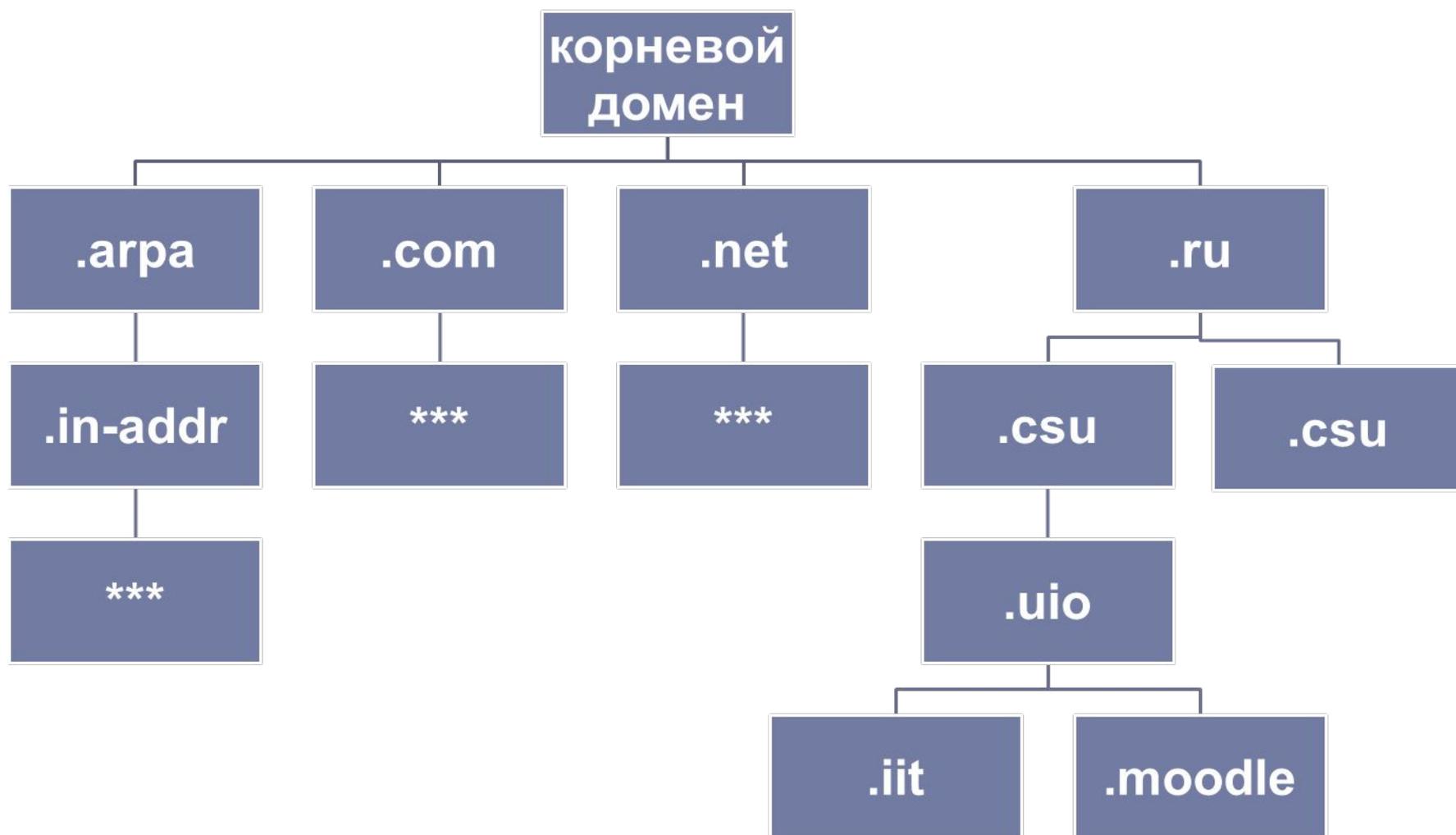
Служба DNS

- 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

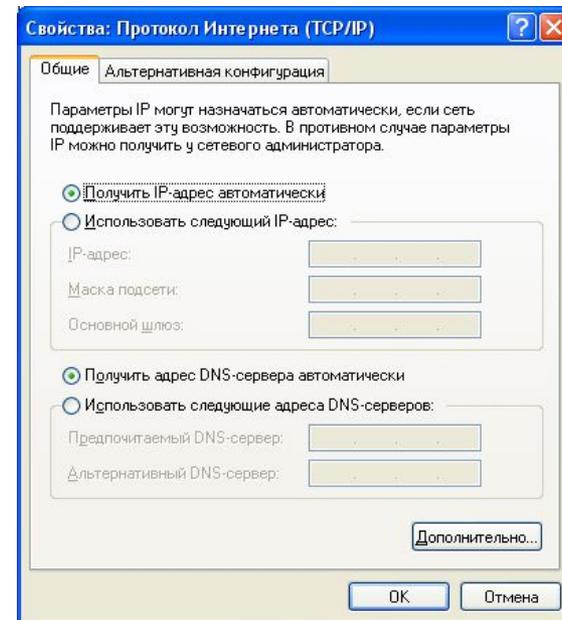
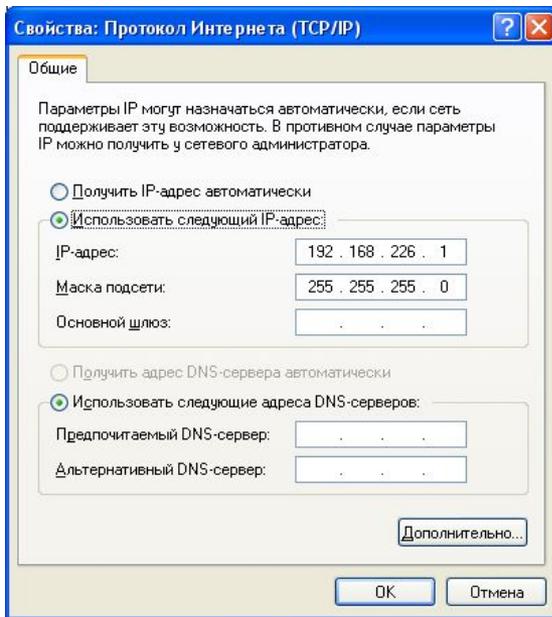
Прикладно й
Представи тельский
Сессия
Транспортн ый
Сетевой
Звено данных
Физический

- 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



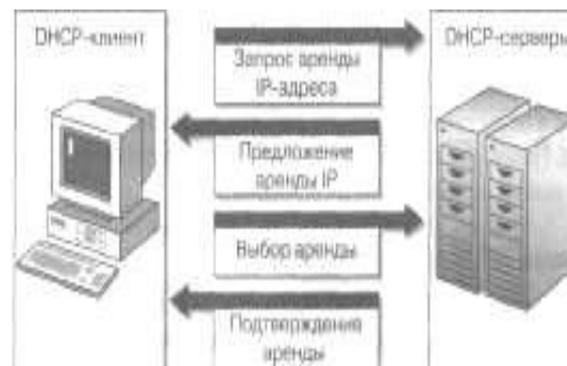
Назначение адресов

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



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

Versi on	IHL	T of S	Total length (max_{rec}≤576bytes)	
Identification			Flags	Fragment offset
Time to live	Protoco l		Header checksum	
Source address				
Destination address				
Options				Padding



Поле Type of service

приоритет	D	T	R	C	не используется
-----------	---	---	---	---	--------------------

- 0 - Обычный уровень
 - 1 - Приоритетный
 - 2 - Немедленный
 - 3 - Срочный
 - 4 - Экстренный
 - 5 - CEITIS/ESR
 - 6 – межсетевое управление
 - 7 - сетевое управление
- D - Минимальная задержка
 - T - Высокая пропускная способность
 - R - Высокая надежность
 - C - Низкая стоимость



Поле Flags



-
- A blue line originates from the '0' bit box, goes down, then left, then down again, ending in an arrowhead pointing to a list of meanings.
- =0 : можно фрагментировать
 - =1 : не фрагментировать

-
- A blue line originates from the 'DF' and 'MF' bit boxes, goes down, then right, then down again, ending in an arrowhead pointing to a list of meanings.
- =0 : последний фрагмент
 - =1 : есть следующий фрагмент

Маршрутизация в IP-сетях

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

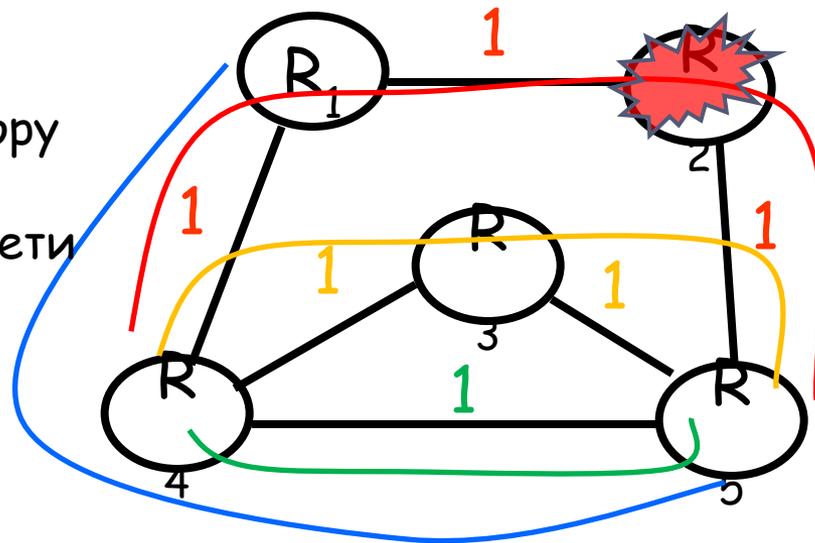


Протоколы маршрутизации

□ 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)



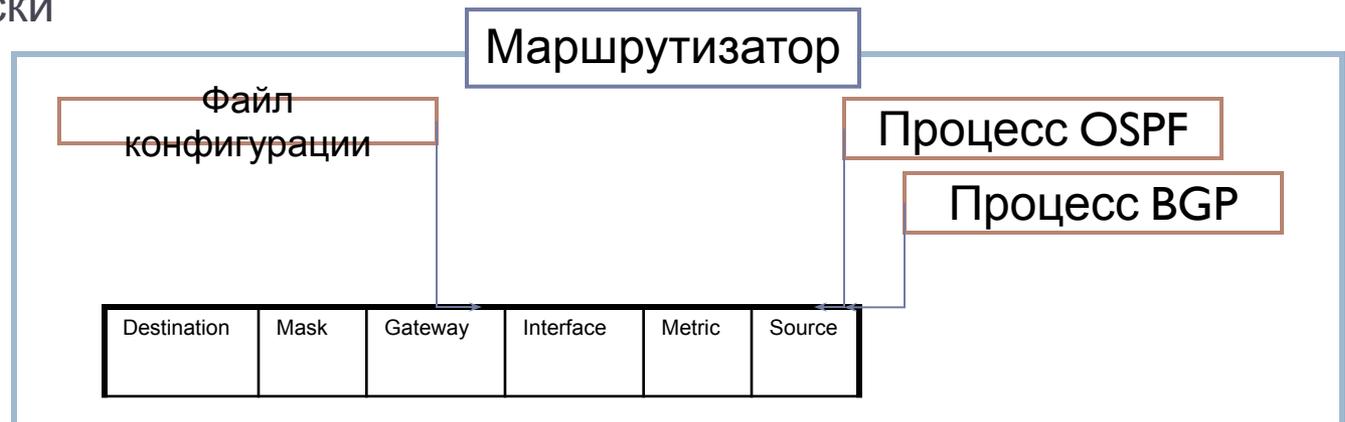
Таблица маршрутизации

- Является источником информации для выбора направления дальнейшей пересылки пакета

Destination	Mask	Gateway	Interface	Metric	Source
-------------	------	---------	-----------	--------	--------

Префикс

- Может заполняться
 - вручную
 - динамически



Пример таблицы маршрутизации

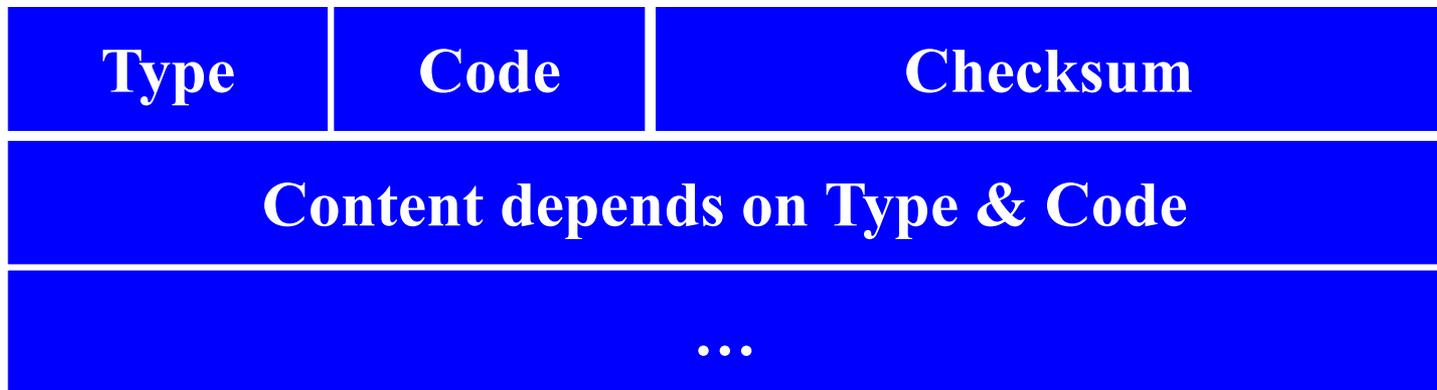
Destination	Gateway	Mask	Interface	Metric	Source
0.0.0.0	198.21.17.7	0.0.0.0	le0	1/1	Static
198.21.17.0	*	255.255.0.0	le0	0/0	Conn
213.34.12.0	*	255.255.255.0	le1	0/0	Conn
129.13.0.0	198.21.1.6	255.255.0.0	le0	1/1	Static
56.0.0.0	213.34.12.4	255.0.0.0	le1	120/1	RIP
116.0.0.0	213.34.12.4	255.0.0.0	le1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



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



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

