



Уральский
федеральный
университет

Сети и системы телекоммуникаций

Протоколы маршрутизации

План

Место протоколов маршрутизации в моделях OSI и TCP/IP

Маршрутизация по вектору расстояний

Маршрутизация с учетом состояния канала

Протоколы внутренней маршрутизации (RIP, OSPF)

Структура Интернет

Протокол внешней маршрутизации BGP

Место в моделях OSI и TCP/IP

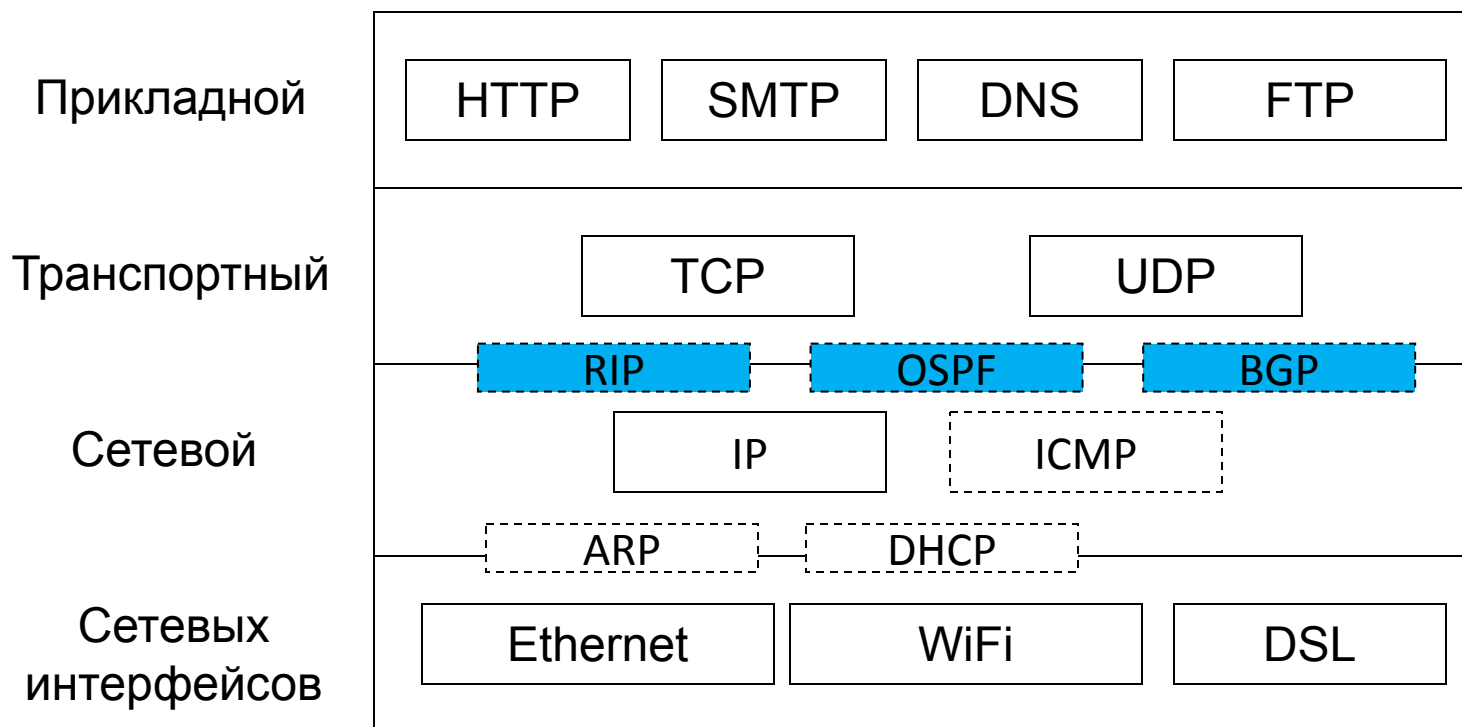
Модель OSI



Модель TCP/IP



Сетевой уровень в TCP/IP



Маршрутизация

Маршрутизация (routing) – поиск маршрута доставки пакета между сетями через транзитные узлы – маршрутизаторы

- Учет изменений в топологии сети
- Учет загрузки каналов связи и маршрутизаторов

Этапы маршрутизации:

- **Изучение сети**
- Продвижение пакетов на маршрутизаторе

Варианты изучения сети

Статическое

- Ручная конфигурация всех маршрутизаторов
- Изменения в сети не учитываются

Динамическое

- Автоматическая конфигурация маршрутизаторов с использованием протоколов маршрутизации
- Учет изменений в сети

Принципы маршрутизации

Каждый маршрутизатор вычисляет собственную таблицу продвижения (forwarding table)

Маршрутизатор знает только стоимость пути до соседа, не топологию

Маршрутизатор может обмениваться служебными сообщениями только со своим соседом

- Знает только то, что сообщил ему сосед

На каждом маршрутизаторе выполняется один и тот же алгоритм одновременно

Каналы связи могут оборваться, маршрутизаторы могут сломаться

- Сообщения могут быть потеряны

Цели алгоритмов маршрутизации

Корректность

- Поиск пути, который является рабочим

Эффективные пути

- Эффективное использование пропускной способности

Справедливые пути

- Ни один узел (хост) не «голодает»

Быстрая сходимость

- Быстрое восстановление после изменений

Масштабируемость

- Продолжают работать в растущей сети

Поиск кратчайшего пути

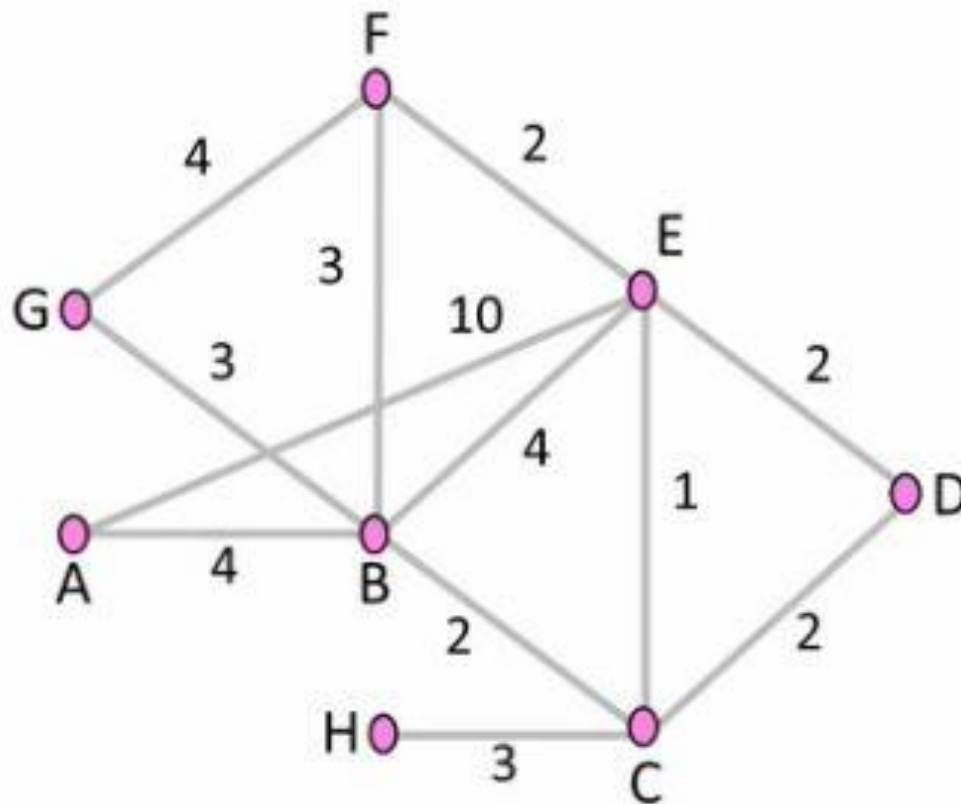
Алгоритм:

1. Присвоить каждой линии связи стоимость (cost/distance)
2. Определить лучший путь между каждой парой узлов как путь, имеющий наименьшую полную стоимость (сумму всех стоимостей линий связи между узлами)
3. Построить дерево от всех узлов к данному приемнику

Поиск кратчайшего пути

Найти кратчайший путь от А до Е

Линии связи двусторонние с одинаковой стоимостью в обоих направлениях



Tanenbaum, Wetherall Computer Networks 5e

Поиск кратчайшего пути

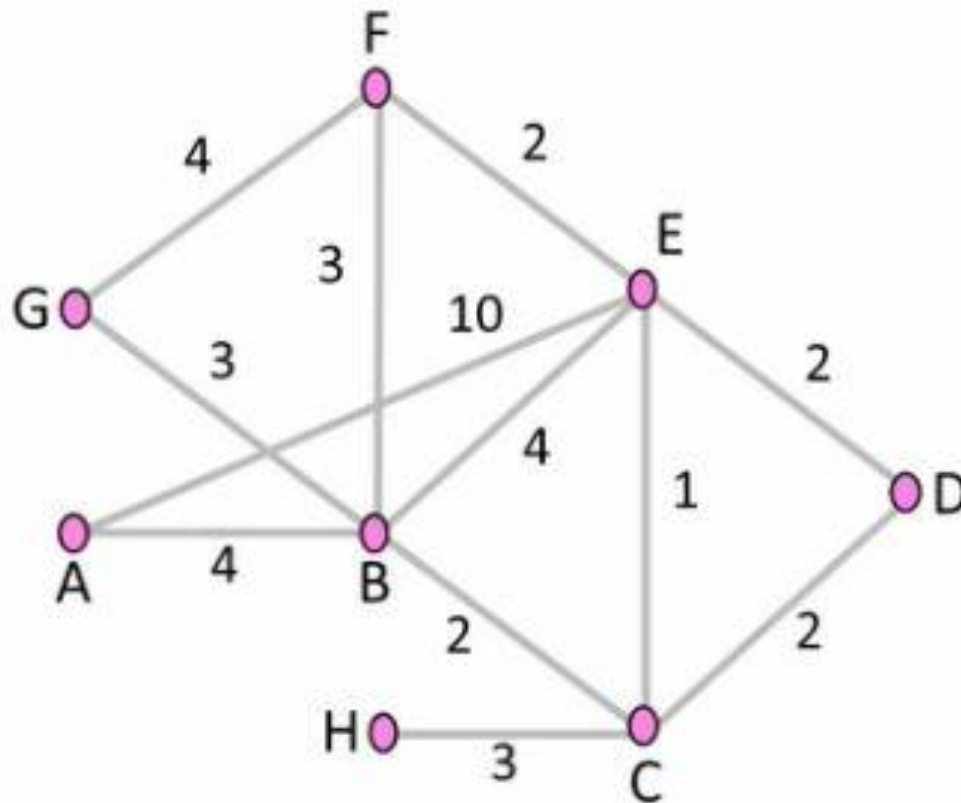
$\text{dist}(AE) = 10$

$\text{dist}(ABE) = 8$

$\text{dist}(ABFE) = 9$

$\text{dist}(ABCE) = 7$

$\text{dist}(ABCDE) = 10$



Tanenbaum, Wetherall Computer Networks 5e

Поиск кратчайшего пути

$$\text{dist}(AE) = 10$$

$$\text{dist}(ABE) = 8$$

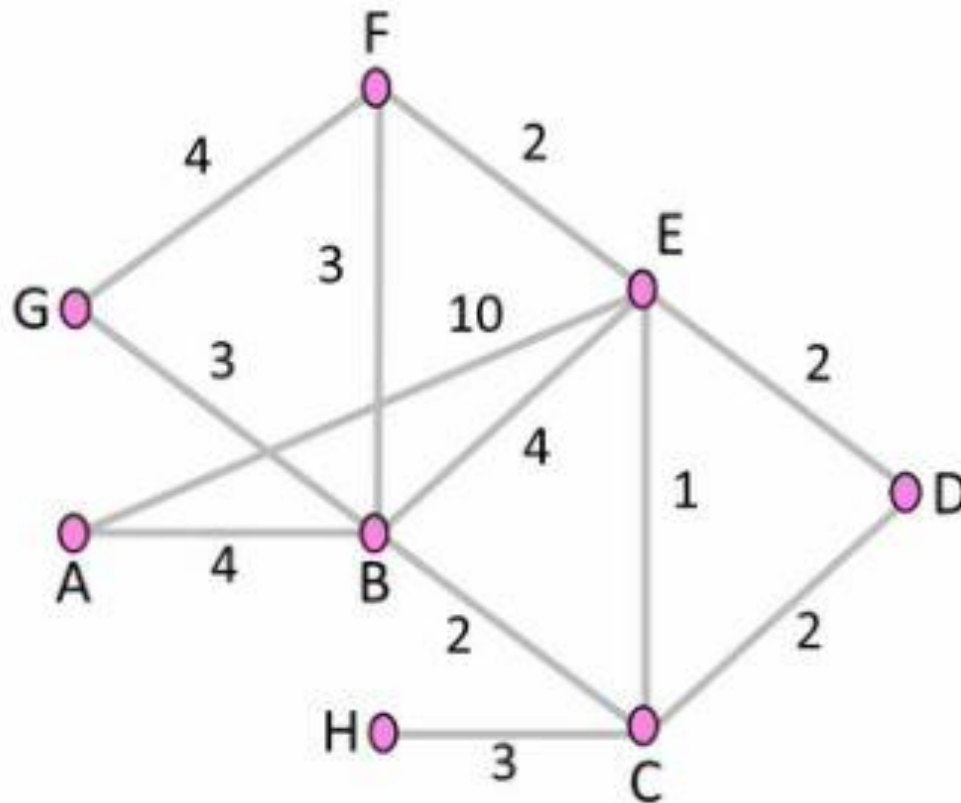
$$\text{dist}(ABFE) = 9$$

$$\text{dist}(ABCE) = 7$$

$$\text{dist}(ABCDE) = 10$$

ABCE – кратчайший
путь

$$\text{dist}(ABCE) = 7$$



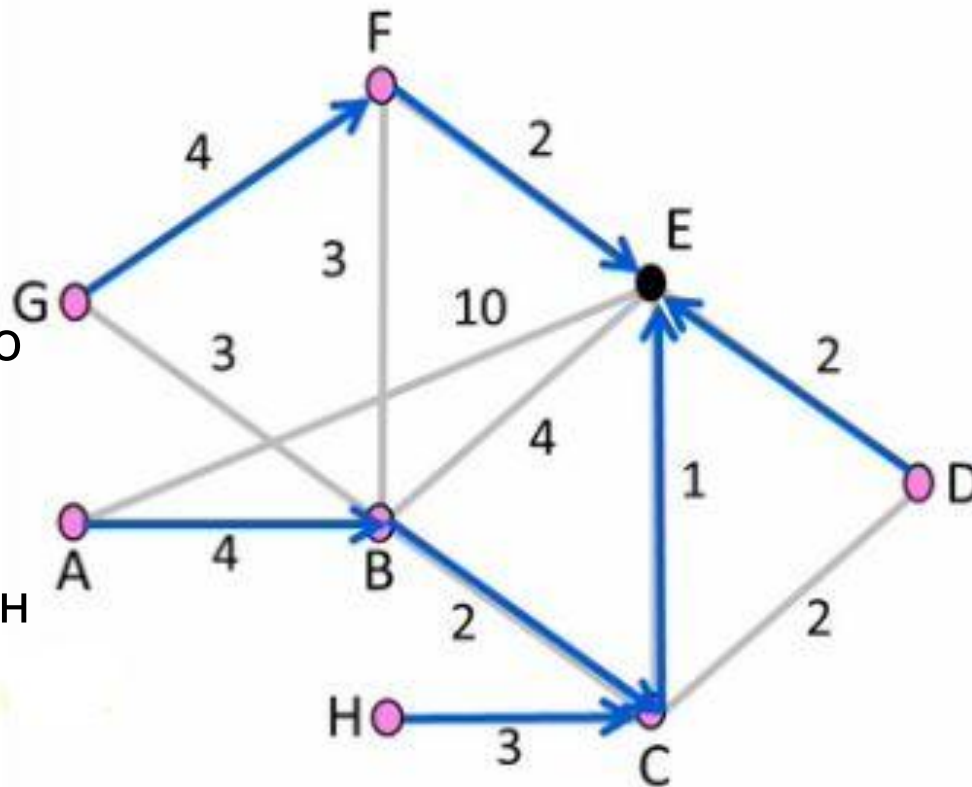
Tanenbaum, Wetherall Computer Networks 5e

Поиск кратчайшего пути

Вершина E – корень
дерева

Применение

- Используется только место назначения, чтобы следовать кратчайшему пути
- Каждый узел должен отправлять только следующему узлу
- Каждый узел содержит список следующих узлов для каждого места назначения



Tanenbaum, Wetherall Computer Networks 5e

Классификация протоколов маршрутизации

Используемый алгоритм маршрутизации

- Дистанционно-векторные протоколы (Distance Vector Protocols): RIP, BGP
- Протоколы состояния каналов связи (Link State Protocols): OSPF

Область применения

- Протоколы внутримоменной маршрутизации (Interior Gateway Protocols): RIP, OSPF
- Протоколы междоменной маршрутизации (Exterior Gateway Protocols): BGP

Маршрутизация по вектору расстояний

Distance Vector Routing

Старый подход, использовался в сети ARPANET

В Интернет используется протоколом RIP

Низкая скорость сходимости

Работает по алгоритму Форда-Беллмана (1969 г.)

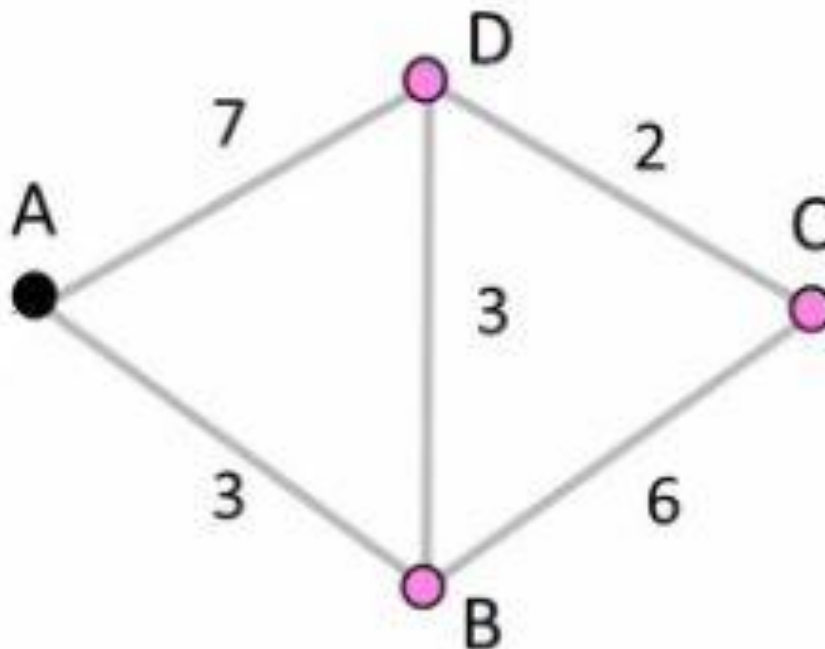
Distance Vector Algorithm

Каждый узел поддерживает вектор расстояний до всех мест назначения (destination)

1. Назначить стоимость вектора до самого себя 0, до всех мест назначения - ∞
2. Периодически отправлять вектор соседям
3. Обновить вектор до каждого места назначения, выбирая кратчайшее расстояние, после добавления стоимости линии связи до соседа

Пример Distance Vector

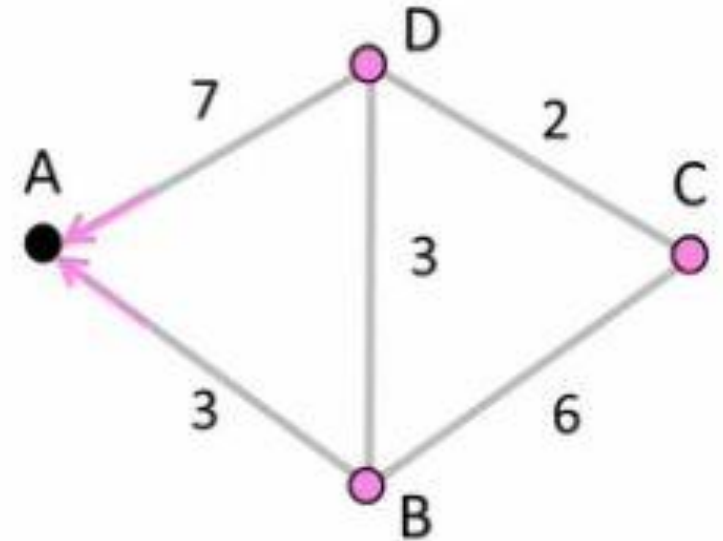
До	Стоимость
A	0
B	∞
C	∞
D	∞



Начальный вектор для узла
A

Пример Distance Vector

До	В сообщении	D сообщении
A	∞	∞
B	0	∞
C	∞	∞
D	∞	0



До	B+3	D+7
A	∞	∞
B	3	∞
C	∞	∞
D	∞	7



Стоимость	Следующий
0	---
3	B
∞	---
7	D

Первый обмен сообщениями

$$A = \min(B+3, D+7)$$

$$B = \min(A+3, C+6, D+3)$$

$$C = \min(B+6, D+2)$$

$$D = \min(A+7, B+3, C+2)$$

До	A	B	C	D
A	0	∞	∞	∞
B	∞	0	∞	∞
C	∞	∞	0	∞
D	∞	∞	∞	0



A знает		B знает		C знает		D знает	
Cost	Next	Cost	Next	Cost	Next	Cost	Next
0	---	3	A	∞	---	7	A
3	B	0	---	6	C	3	B
∞	---	6	C	0	---	2	C
7	D	3	D	2	D	0	---

Второй обмен сообщениями

$$A = \min(B+3, D+7)$$

$$B = \min(A+3, C+6, D+3)$$

$$C = \min(B+6, D+2)$$

$$D = \min(A+7, B+3, C+2)$$

До	A	B	C	D
A	0	3	∞	7
B	3	0	6	3
C	∞	6	0	2
D	7	3	2	0



A знает		B знает		C знает		D знает	
Cost	Next	Cost	Next	Cost	Next	Cost	Next
0	---	3	A	9	B	6	B
3	B	0	---	5	D	3	B
9	B	5	D	0	---	2	C
6	B	3	D	2	D	0	---

Третий обмен сообщениями

$$A = \min(B+3, D+7)$$

$$B = \min(A+3, C+6, D+3)$$

$$C = \min(B+6, D+2)$$

$$D = \min(A+7, B+3, C+2)$$

До	A	B	C	D
A	0	3	9	6
B	3	0	5	3
C	9	5	0	2
D	6	3	2	0



A знает		B знает		C знает		D знает	
Cost	Next	Cost	Next	Cost	Next	Cost	Next
0	---	3	A	8	D	6	B
3	B	0	---	5	D	3	B
8	B	5	D	0	---	2	C
6	B	3	D	2	D	0	---

Distance Vector Algorithm

Алгоритм запускается при добавлении нового узла

Нет никаких сообщений о неполадках на канале

- Сломался маршрутизатор, оборвалась линия связи

Distance Vector Algorithm

Алгоритм запускается при добавлении нового узла

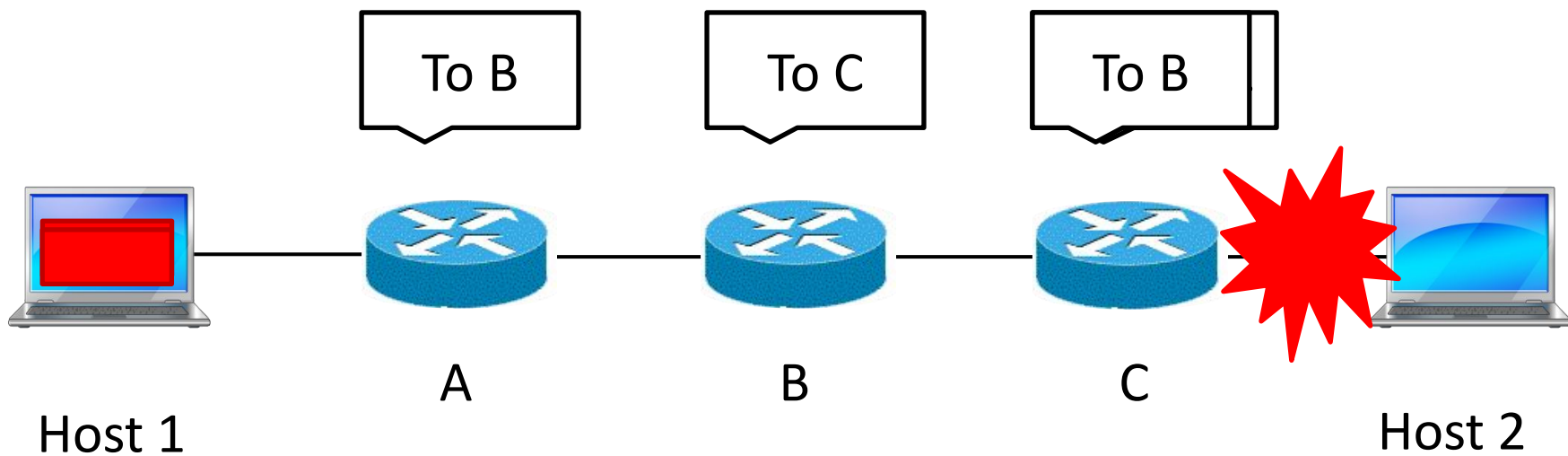
Нет никаких сообщений о неполадках на канале

- Сломался маршрутизатор, оборвалась линия связи

Недостижимые сети (unreachable networks)

- Счет до бесконечности

Счет до бесконечности



Счет до бесконечности. Решения

Time To Live (TTL)

Split Horizon

- Никогда не отправлять пакет на интерфейс, с которого он пришел

Poison Reverse

- Установить стоимость до нерабочего маршрута в бесконечность и немедленно рассказать всем соседям

Маршрутизация с учетом состояния канала

- Современный подход

Маршрутизация с учетом состояния канала

Link-State Routing

Современный подход

Быстро сходится

Требует большое количество ресурсов

- Обмен топологиями между всеми маршрутизаторами
- Хранение всех топологий в памяти маршрутизатора

Работает по алгоритму Дейкстры (1959 г.)

Link-State Algorithm

1. Узлы распространяют собственную топологию
 - Каждый узел знает полную топологию
2. Каждый узел вычисляет собственную таблицу пересылки (forwarding table)
 - Алгоритм Дейкстры

Link-State Algorithm

Повредился канал связи

- Оба маршрутизатора рассылают изменения
- Канал связи удаляется из топологии

Повредился маршрутизатор

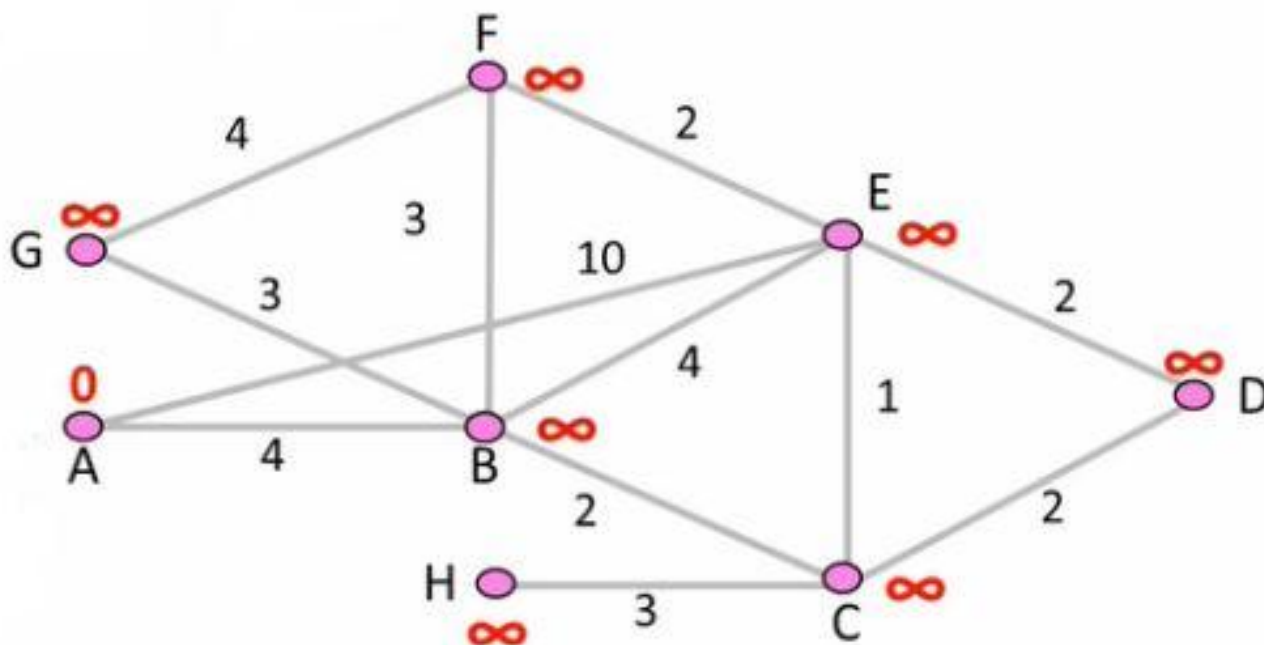
- Все маршрутизаторы рассылают изменения
- Сломанный маршрутизатор не может обновлять свою топологию
- Все каналы связи до сломанного маршрутизатора удалены из топологии

Алгоритм Дейкстры

1. Назначить все узлы непосещенными, установить стоимость от источника до источника 0, до всех непосещенных узлов - ∞
2. Пока есть непосещенные узлы выполнять:
 - a) Извлечь узел N с наименьшей стоимостью
 - b) Добавить канал до N в дерево кратчайшего пути
 - c) Пересчитать (уменьшить) стоимость смежных с N узлов

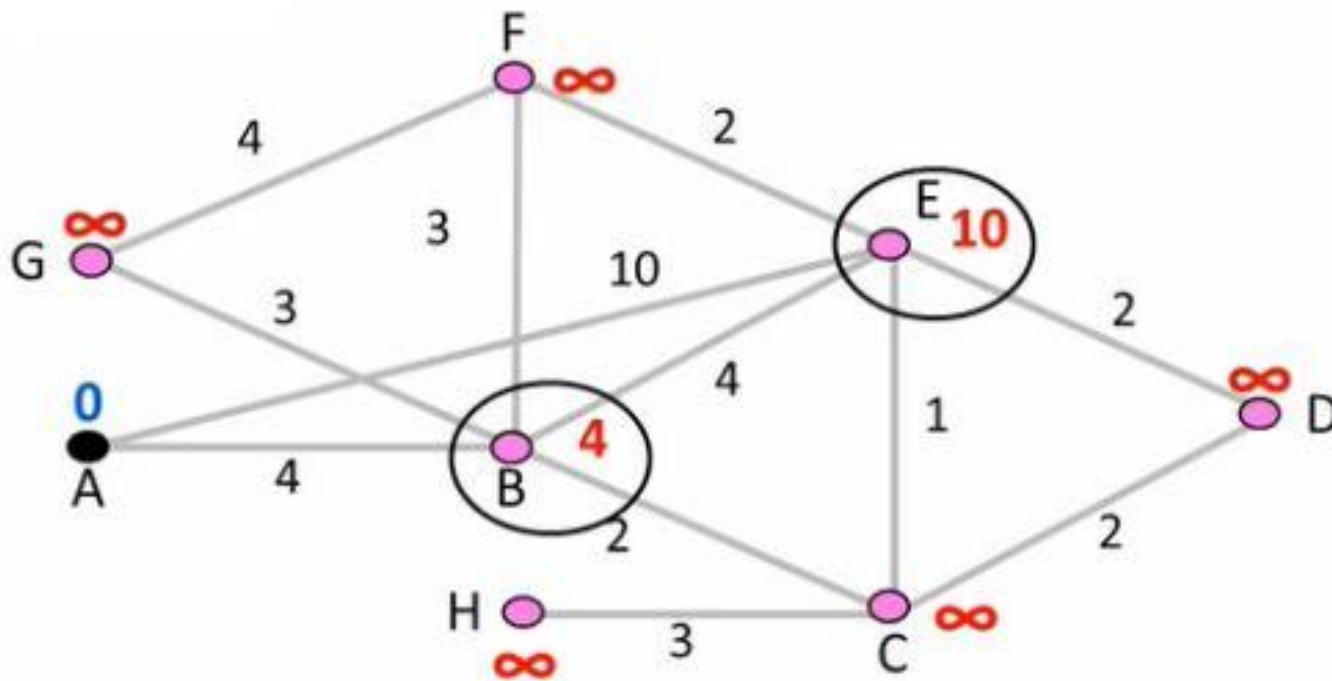
Алгоритм Дейкстры

1. Начальное состояние



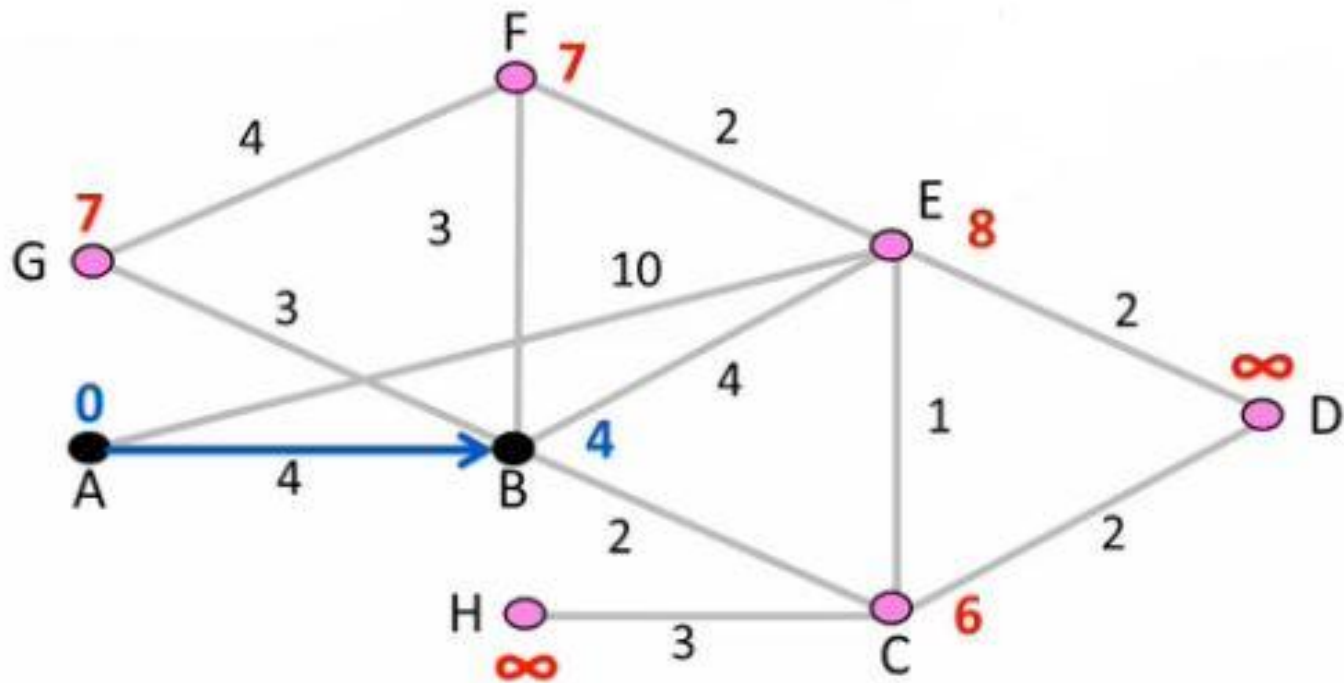
Алгоритм Дейкстры

2. Снижение стоимости смежных с A узлов



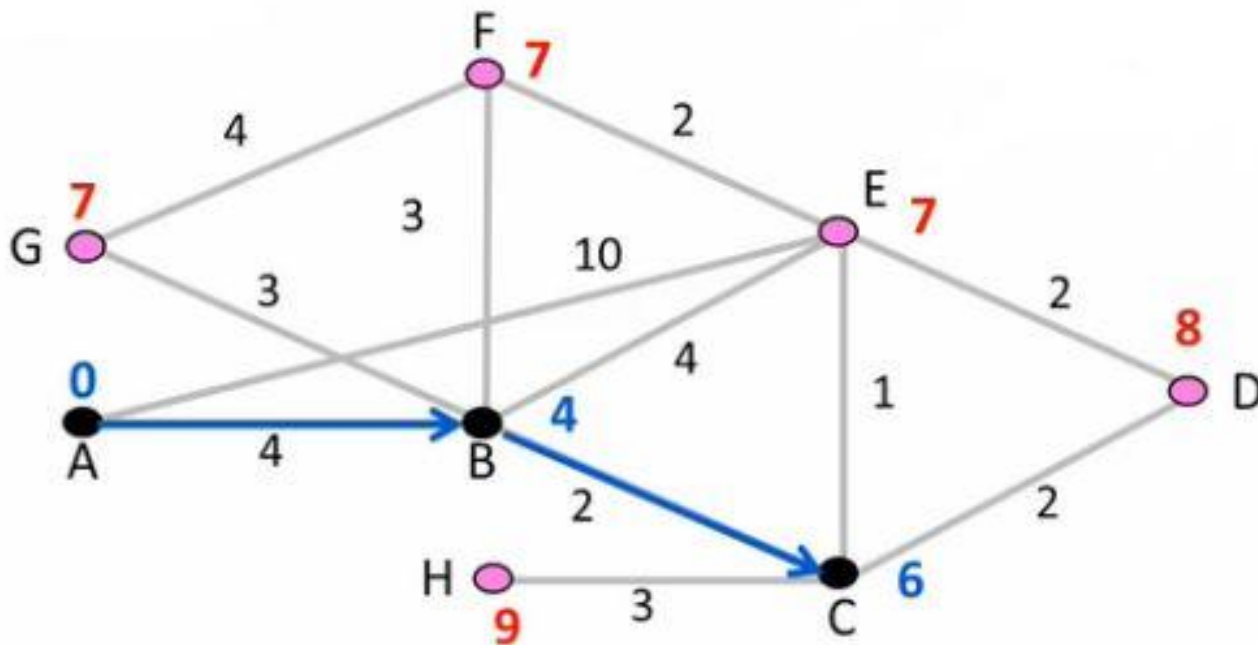
Алгоритм Дейкстры

3. Снижение стоимости смежных с B узлов



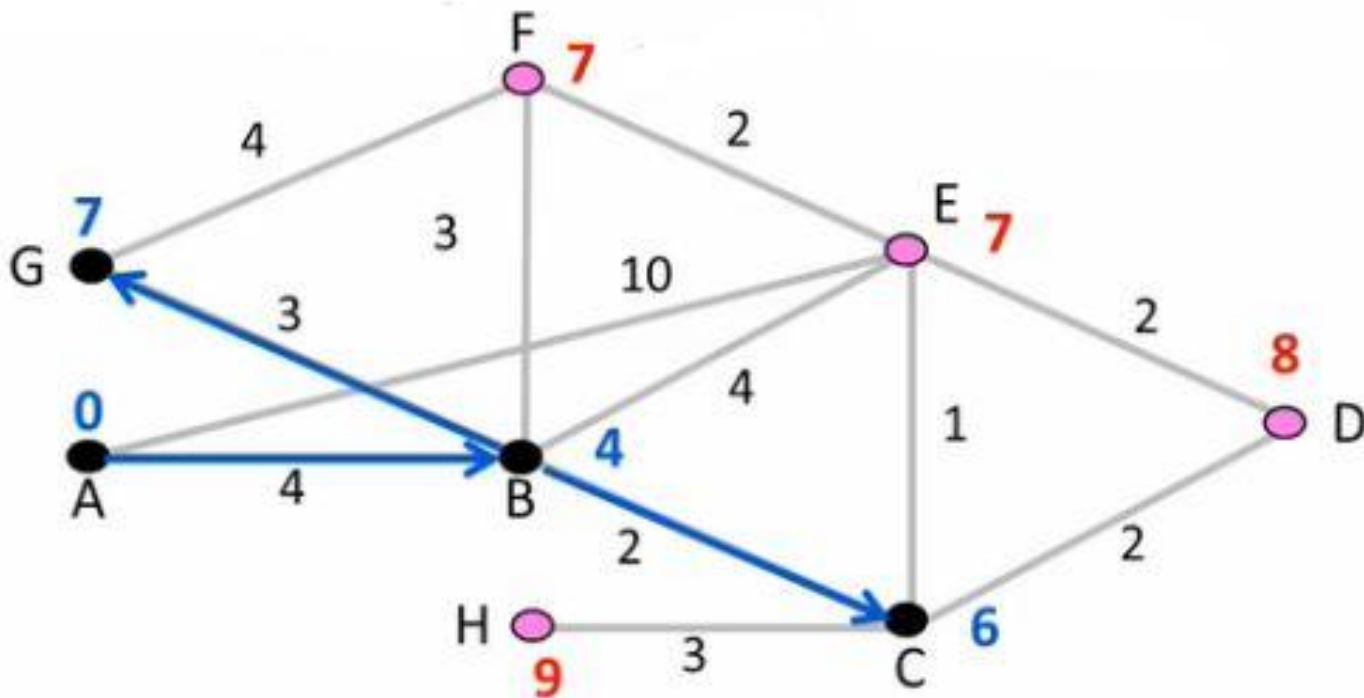
Алгоритм Дейкстры

4. Снижение стоимости смежных с C узлов



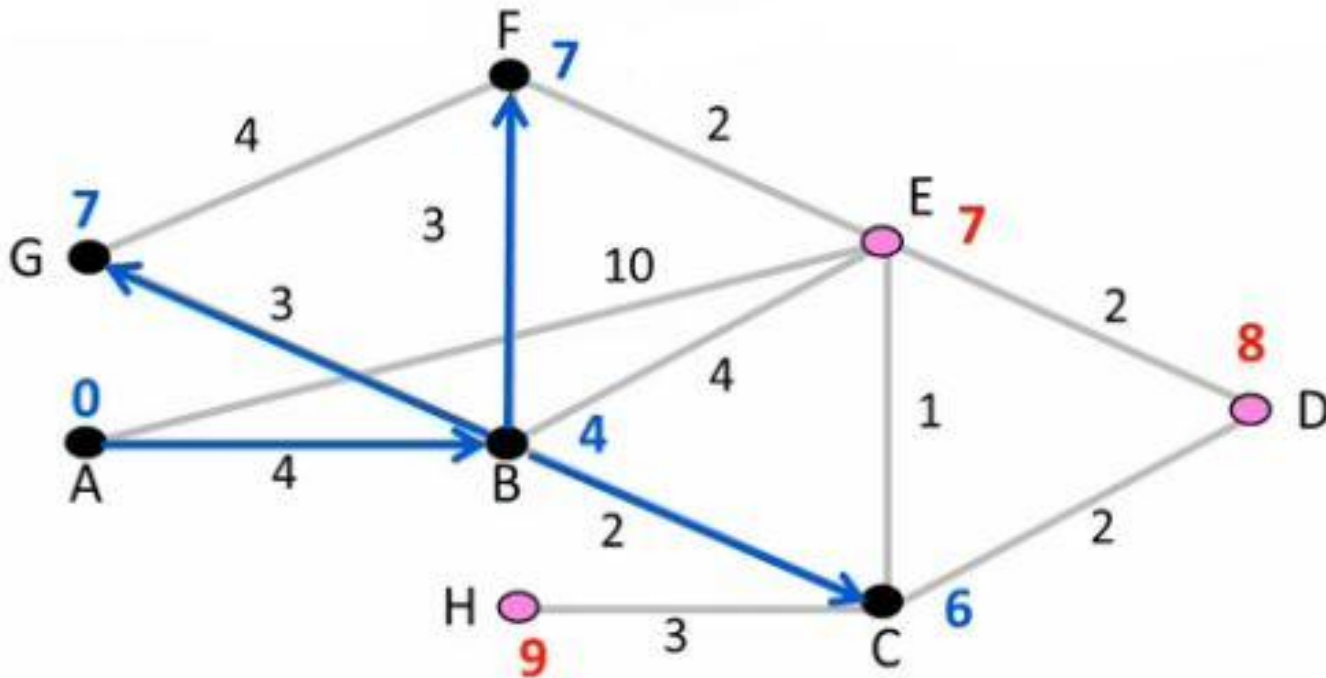
Алгоритм Дейкстры

5. Снижение стоимости смежных с G узлов



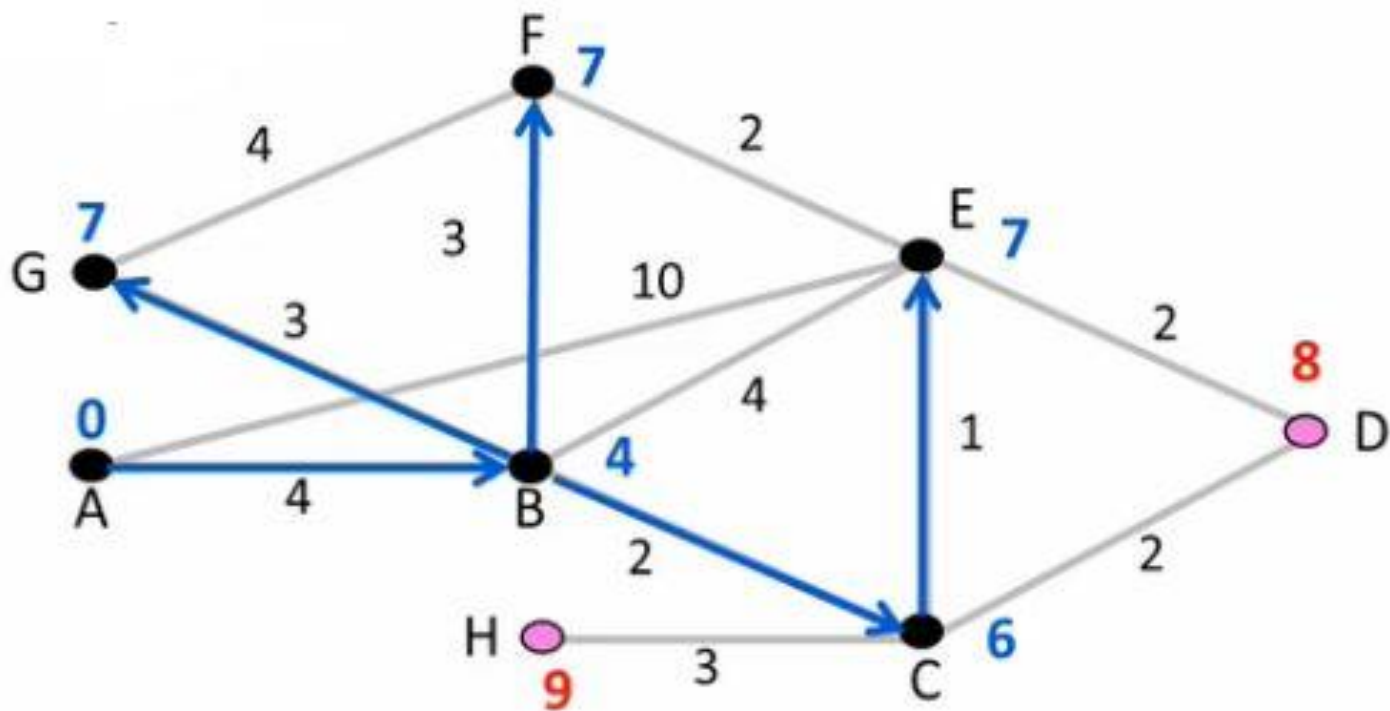
Алгоритм Дейкстры

6. Снижение стоимости смежных с F узлов



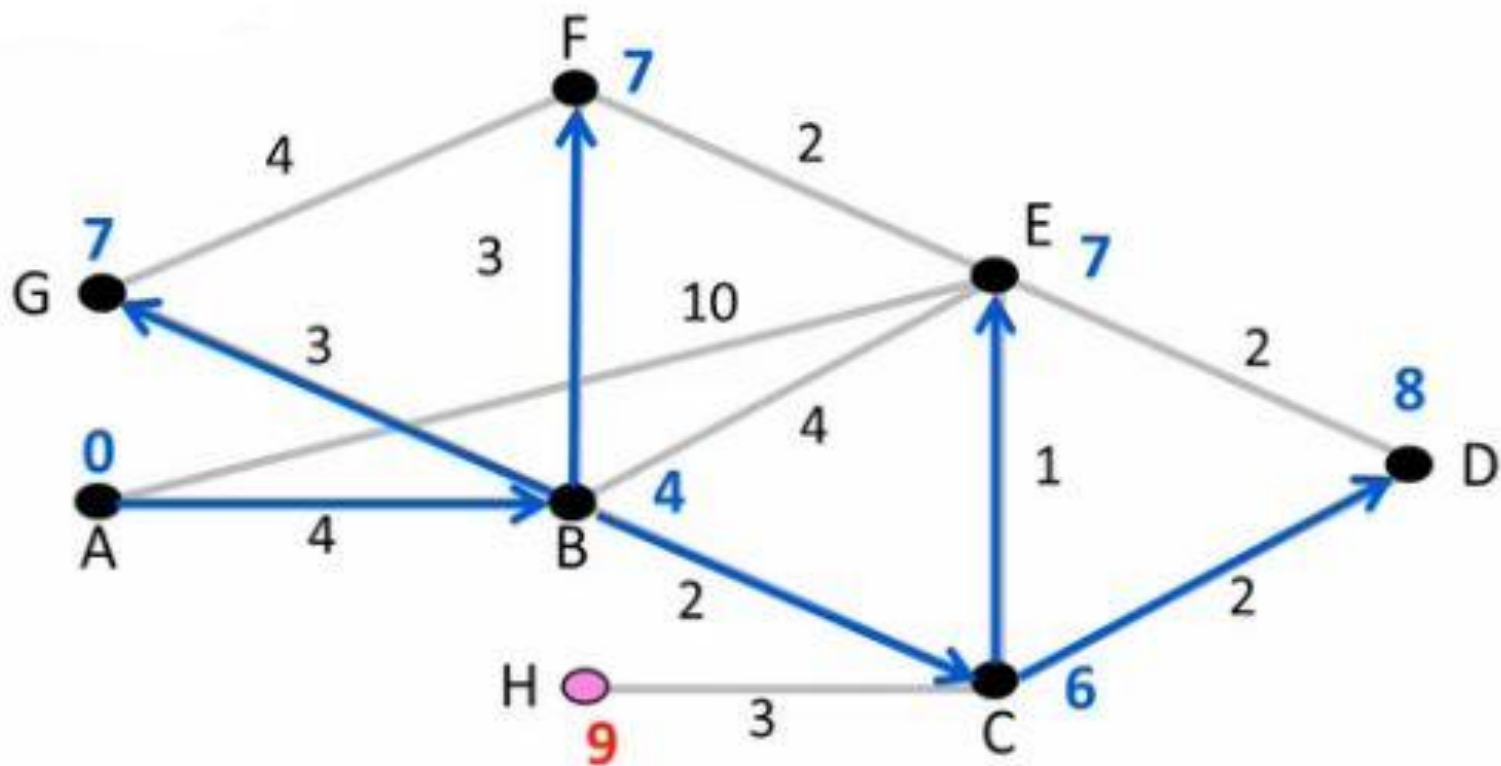
Алгоритм Дейкстры

7. Снижение стоимости смежных с E узлов



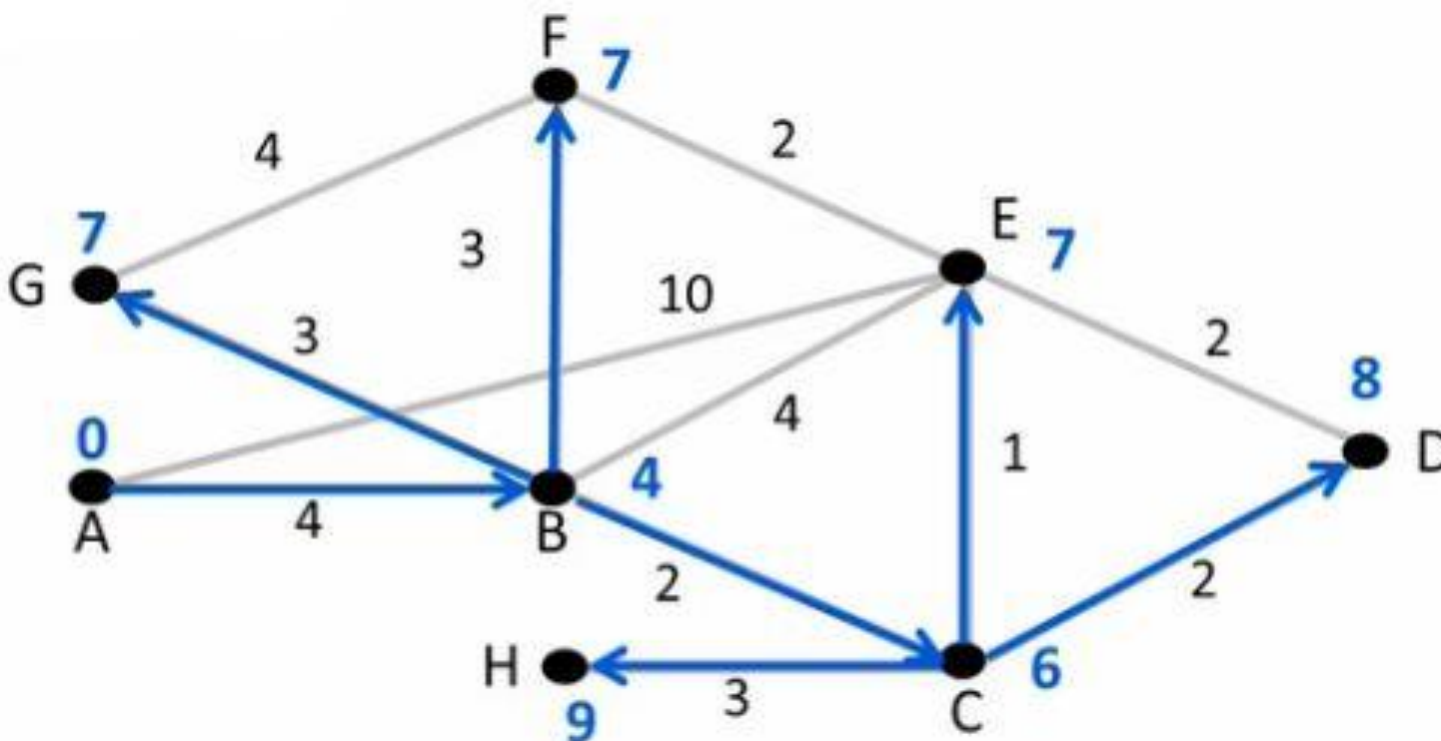
Алгоритм Дейкстры

8. Снижение стоимости смежных с D узлов



Алгоритм Дейкстры

9. Снижение стоимости смежных с N узлов



Алгоритм Дейкстры

Строит полное дерево

- Больше, чем нужно для пересылки
- Полная топология сети

Находит кратчайший путь, увеличивая расстояние от источника

Время построения быстро увеличивается с ростом сети

Routing Information Protocol

RIP – протокол маршрутной информации

Дистанционно-векторный протокол

Использует алгоритм Форда-Беллмана

Использует число хопов (hops) как метрику

- Бесконечность устанавливается в 16 хопов
- Ограниченный размер сети

Маршрутизаторы отправляют вектор каждые 30 с.

- Таймаут 180 с.
- Путь считается недостижимым при достижении таймаута

Версии RIP

RIPv1

- RFC 1058
- 1969 г.

RIPv2

- RFC 2453
- 1994 г.

RIPng

- Разработан для сетей IPv6

Open Shortest Path First

OSPF

Протокол состояния канала связи

Использует алгоритм Дейкстры

Метрика учитывает пропускную способность канала и задает его стоимость

- Метрика = относительная пропускная способность / пропускную способность канала
- Бесконечность равна $2^{24} - 1$

Хранит резервный маршрут для сети

Hello интервал 10 с., Dead интервал 40 с.

Версии OSPF

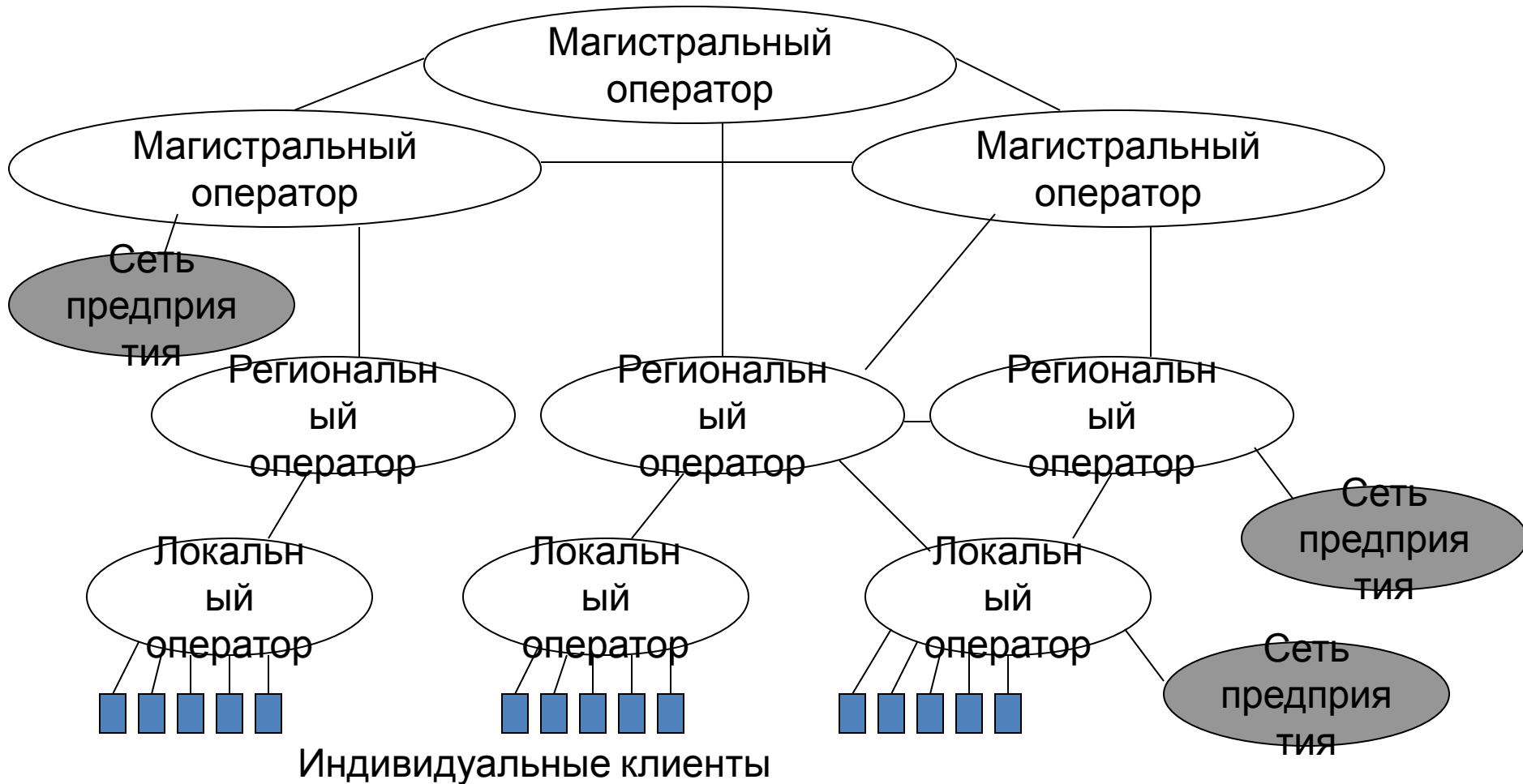
OSPFv2

- Работа в сетях IPv4

OSPFv3

- Работа в сетях IPv6

Структура Интернет



Особенности Интернет

Интернет – объединение сетей

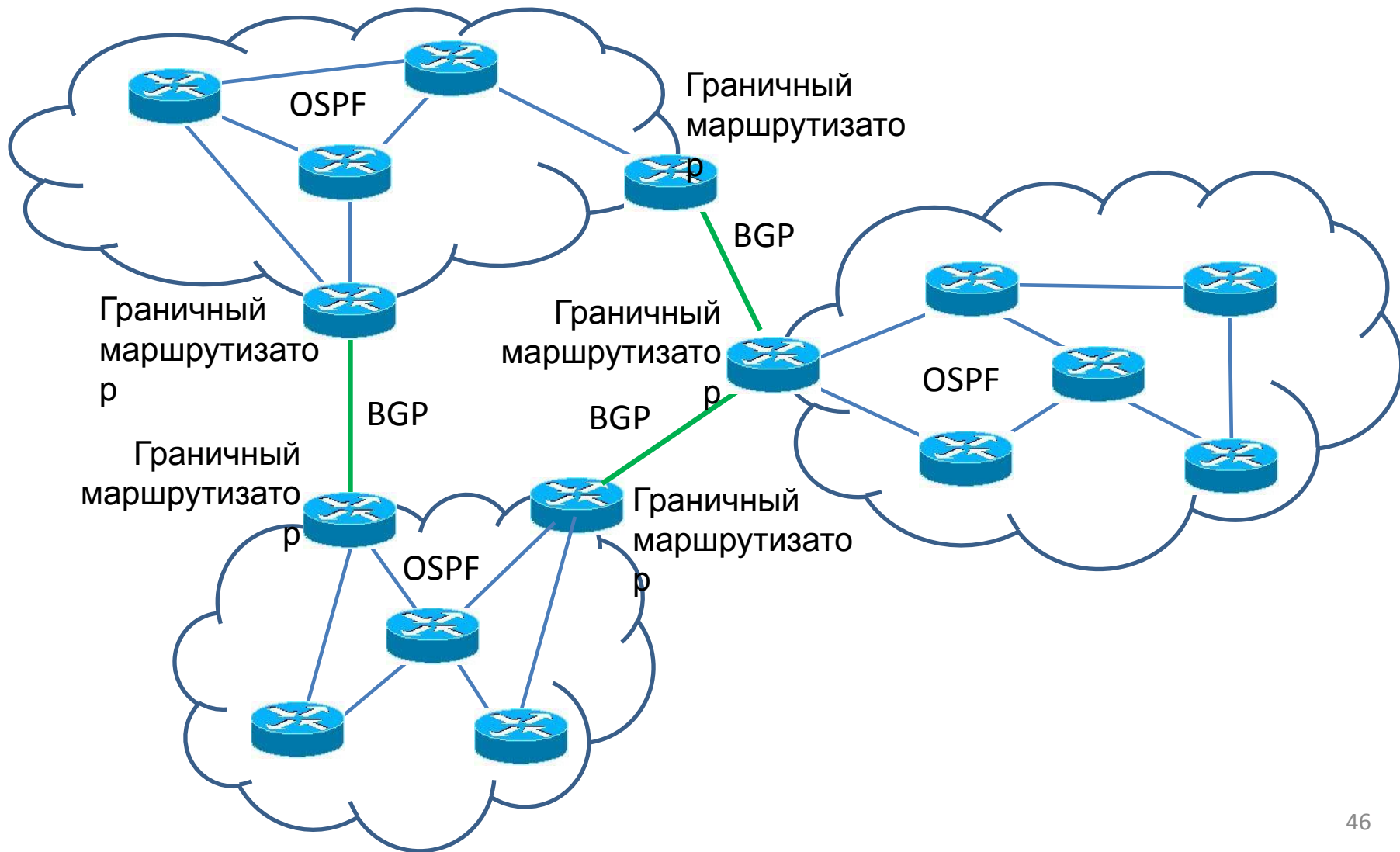
Сети строятся разными организациями

- Разные люди управляют сетью внутри организаций
- Разные политики маршрутизации

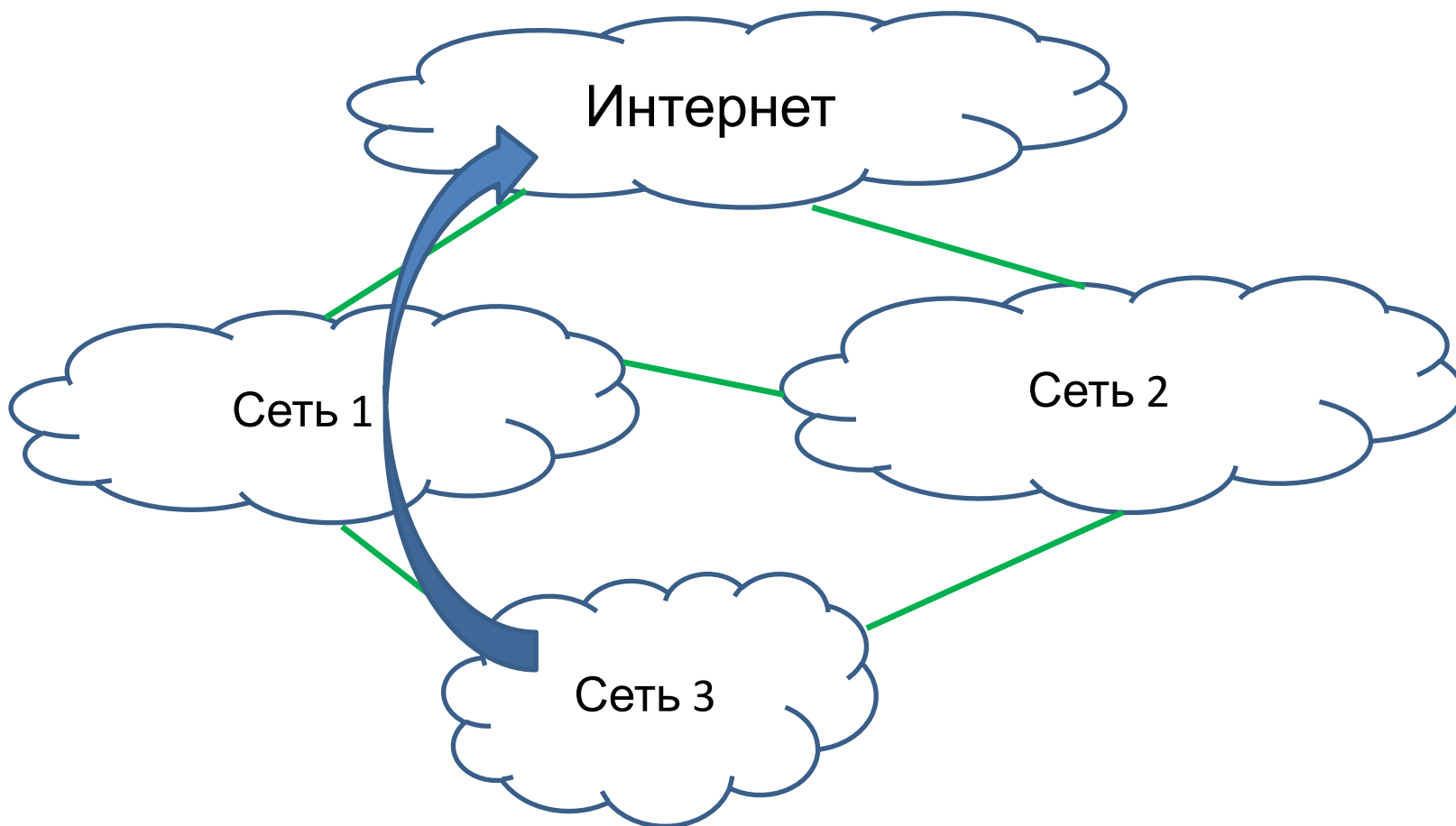
Необходим протокол, учитывающий особенности Интернет

- Маршрутизация в составной сети, состоящей из независимо управляемых подсетей
- Учет политик маршрутизации

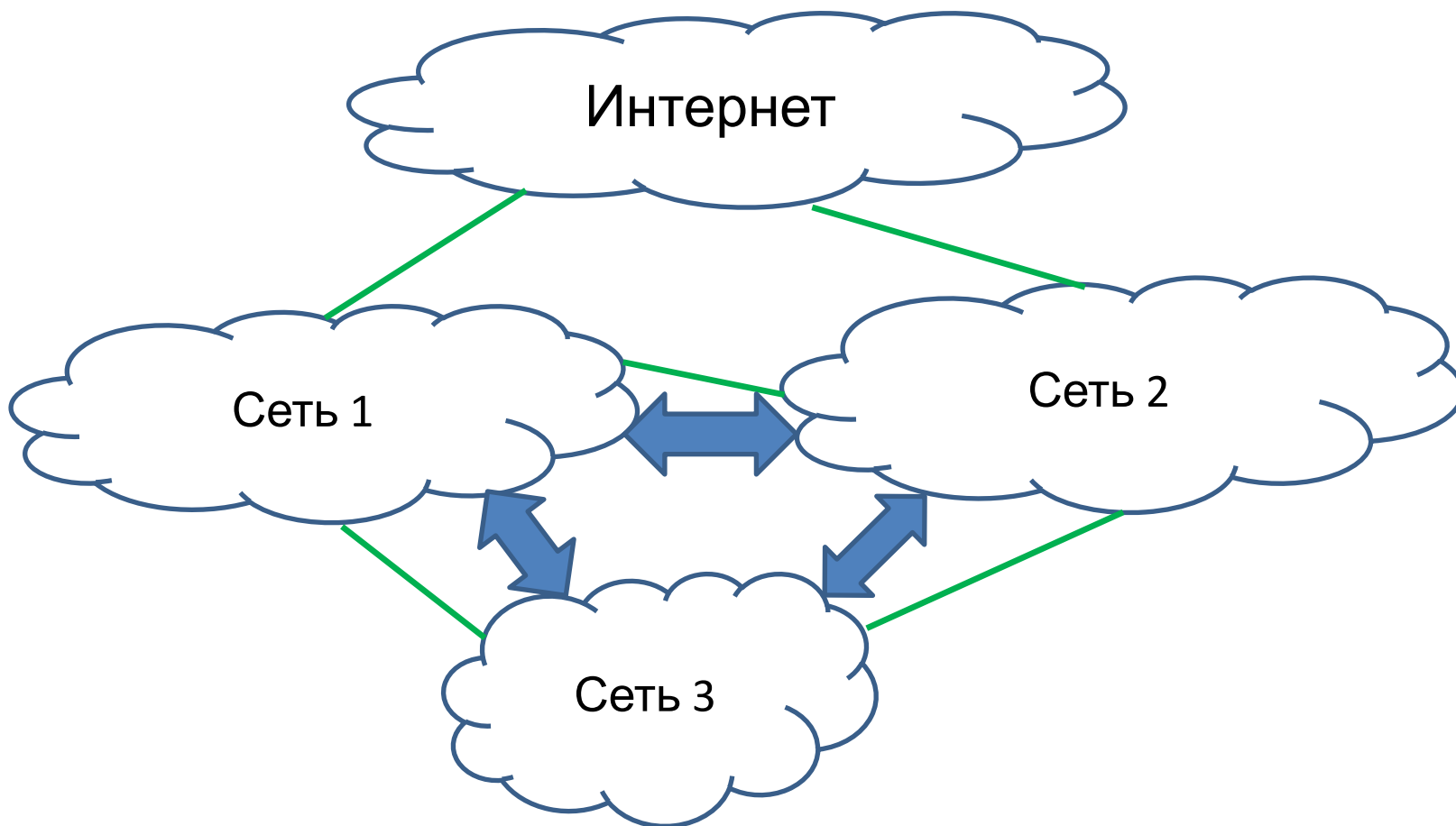
Внутри- и междоменная маршрутизация



Тип сервиса «Transit»



Тип сервиса «Peer»



Автономная система

Autonomous System (AS)

Одна или несколько сетей с единым администрированием

- Часто принадлежат одному провайдеру
- Имеет свой номер
- Включает адреса IP-сетей (префиксы)

Выдает номера (ASN) IANA

- RIR выдают номера провайдерам или крупным организациям

Номер автономной системы

AS УрФУ - 5468 (26046 – у бывшего УрГУ)

16-битные номера (0 – 65536)

- До 2007 года
- От 64512 до 65534 – приватные номера AS
- Исчерпание доступного диапазона

32-битные номера

- RFC 4893
- 65536-4294967295 (2^{32})

Используется в BGP–маршрутизации

Border Gateway Protocol

BGP – протокол граничного шлюза

Используется для вычисления междоменных маршрутов в Интернет

Использует алгоритм определения пути по вектору

- Разновидность Distance Vector
- Метрика – вектор (path vector)

BGP-маршрутизация

Разные провайдеры используют разные автономные системы

Маршрутизаторы на границе AS анонсируют BGP маршруты до других маршрутизаторов

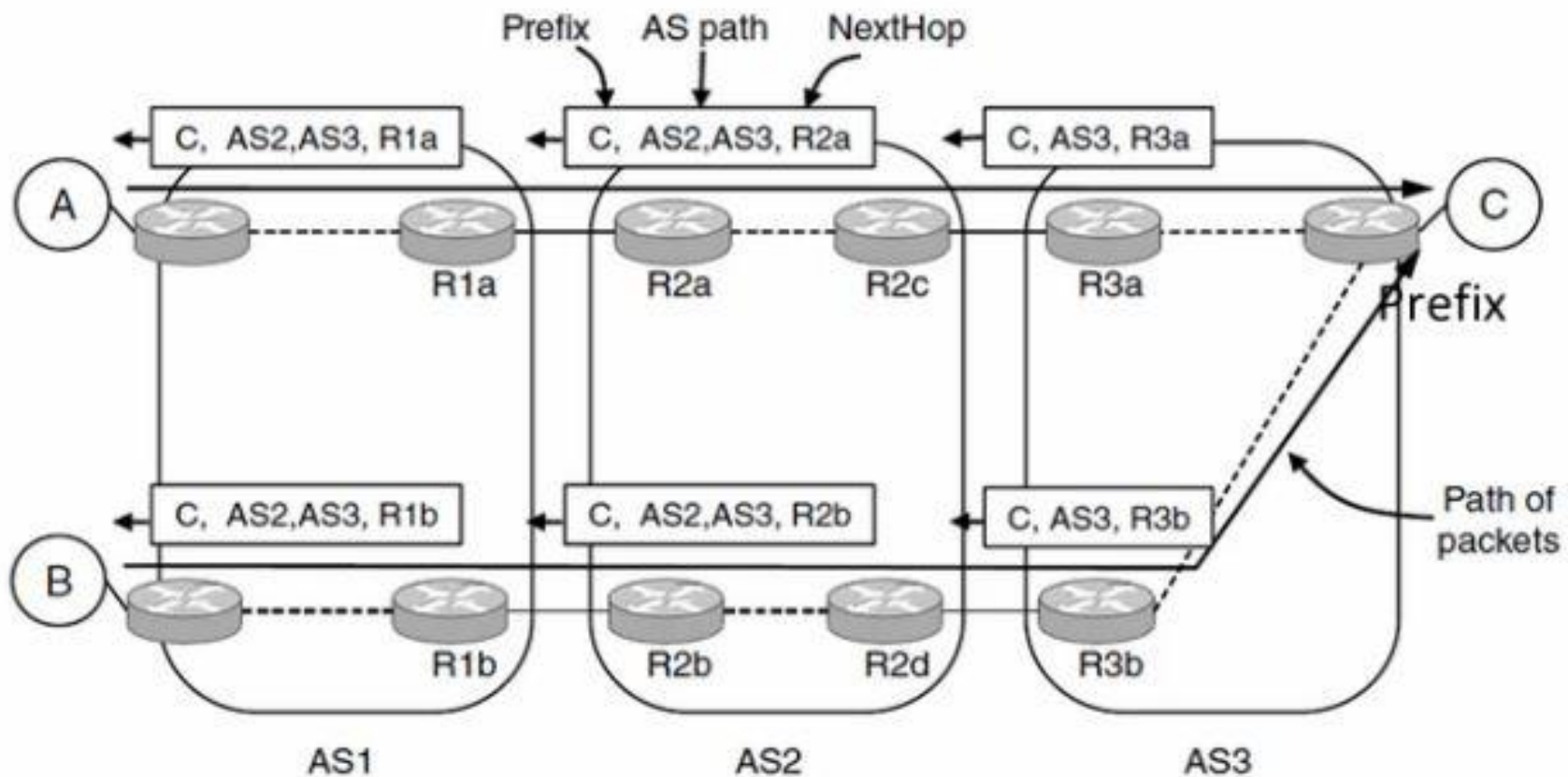
Каждый анонс содержит префикс, вектор пути (path vector), следующий маршрутизатор

- Вектор пути – список AS по пути до префикса

Выбор маршрута на основе политик

В качестве адресов используются номера автономных систем

BGP



Итоги

Место протоколов маршрутизации в моделях OSI и TCP/IP

Маршрутизация по вектору расстояний

Маршрутизация с учетом состояния канала

Протоколы внутренней маршрутизации (RIP, OSPF)

Структура Интернет

Протокол внешней маршрутизации BGP

Вопросы?