

# Маршрутизация в Интернет

1

## Маршрутизация с използване на класово адресиране

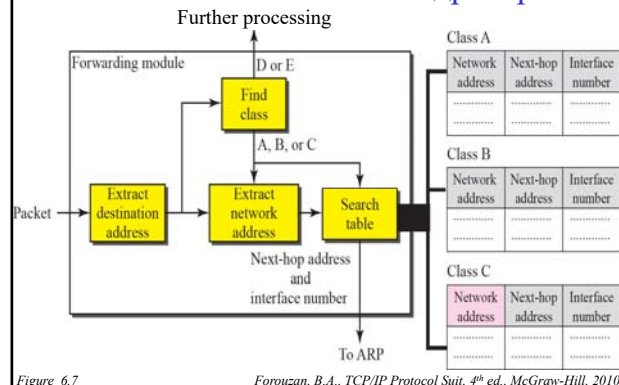


Figure 6.7

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suit, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2010

2

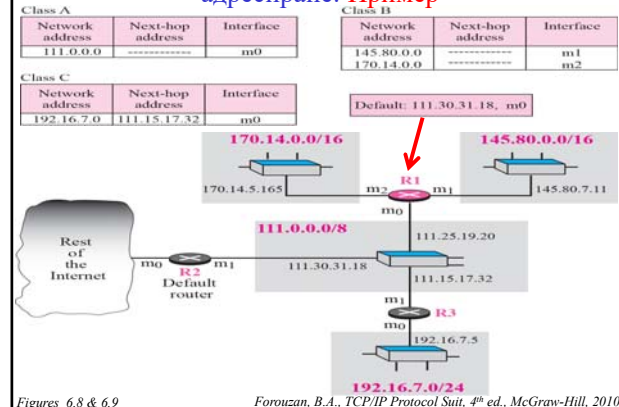
## Маршрутизация с използване на класово адресиране (прод.)

### Маршрутизатор:

- Поддържа различни таблици за мрежите-цели
  - по 1 за всеки клас адреси
  - Индексиранни таблици за класове А и В
  - Хеширани таблици за клас С
- При пристигане на нов пакет
  - Използва първите 4 бита от адреса на получателя за определяне на класа (А, В, С, D)
  - Определя NetID на мрежата-цел
  - Прегърсва съответната таблица до намиране на NetID
  - Прочита от таблицата номера на съответния изх. интерфейс
  - Изпраща пакета към този интерфейс

3

## Маршрутизация с използване на класово адресиране: Пример



Figures 6.8 &amp; 6.9

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suit, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2010

4

## Маршрутизация с използване на класово адресиране при наличие на подмрежи

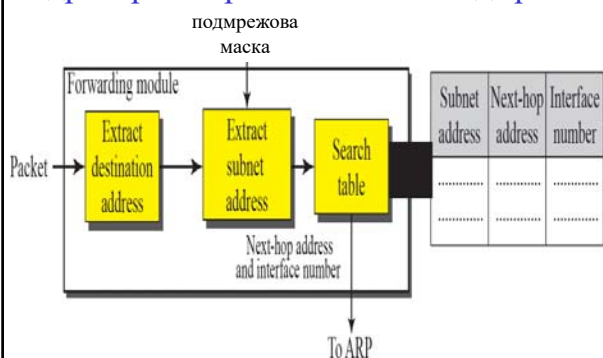


Figure 6.10

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suit, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2010

5

## Маршрутизация с използване на класово адресиране при наличие на подмрежи: Пример

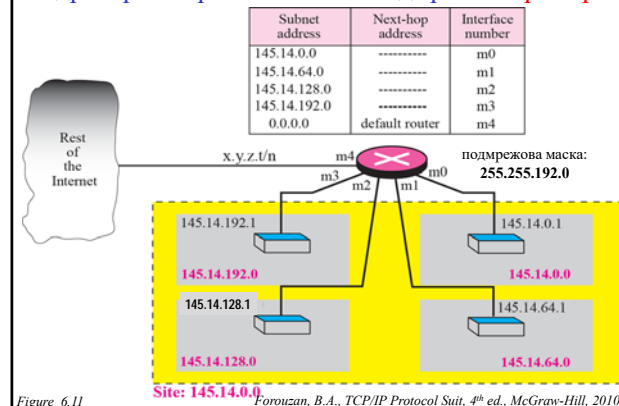


Figure 6.11

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suit, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2010

6

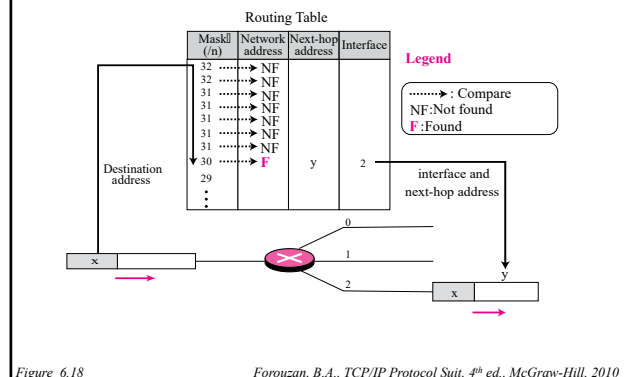
## Маршрутизация с използване на безкласово адресиране – *Classless Inter-Domain Routing (CIDR)*

### Маршрутизатор:

- Поддържа 1 таблица за всички мрежи-цели
- При пристигане на нов пакет
  - Претърсва таблицата до намиране на най-голямо съответствие на префикса /n (*longest prefix match*)
  - Прочита от таблицата номера на съответния изх. интерфейс
  - Изпраща пакета към този интерфейс
- Използва сложни алгоритми за ускоряване на процеса за намиране на съвпадение

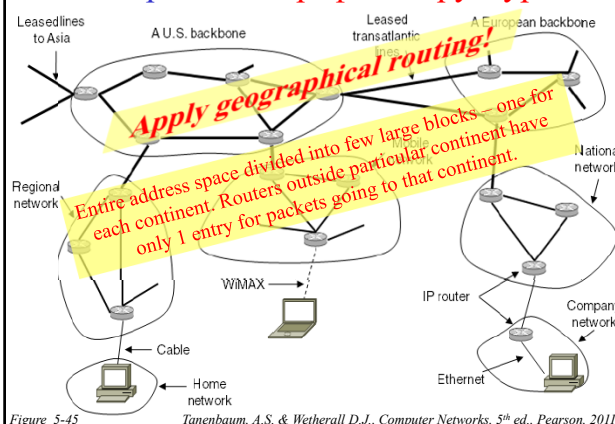
7

## CIDR: Longest Prefix Match



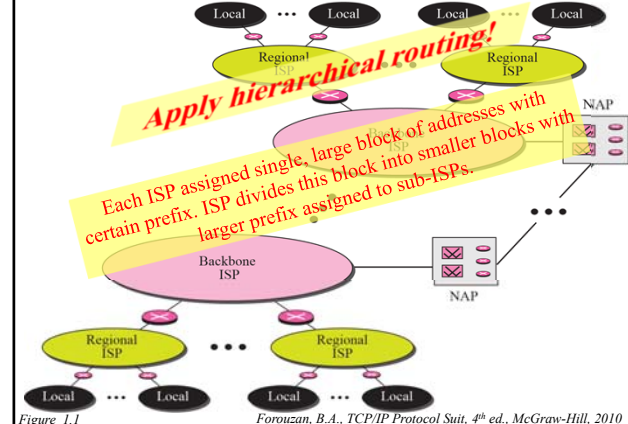
8

## Интернет: Географска структура



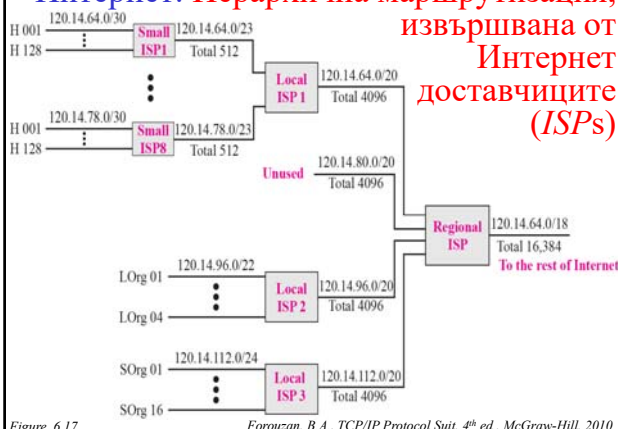
9

## Интернет: ISP йерархична структура



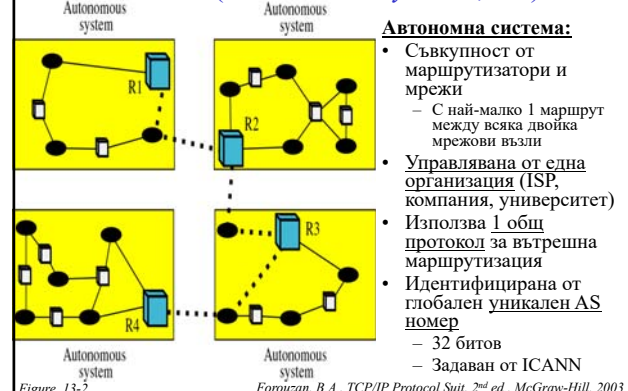
10

## Интернет: Йерархична маршрутизация, извършвана от Интернет доставчиците (ISPs)

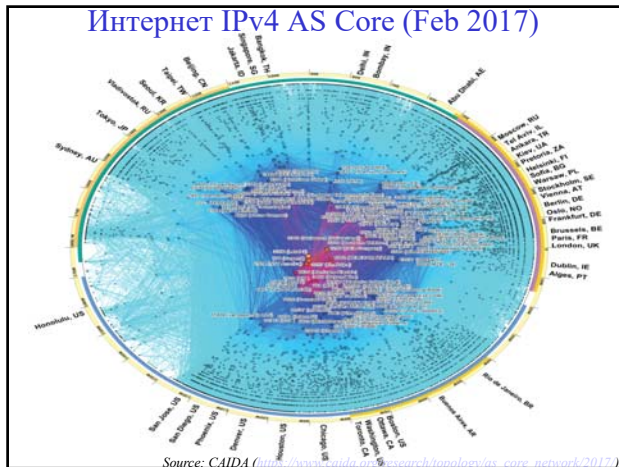


11

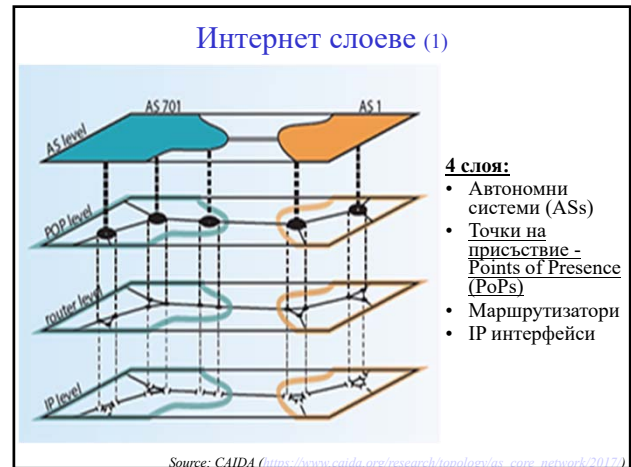
## Интернет като колекция от автономни системи (autonomous systems, AS)



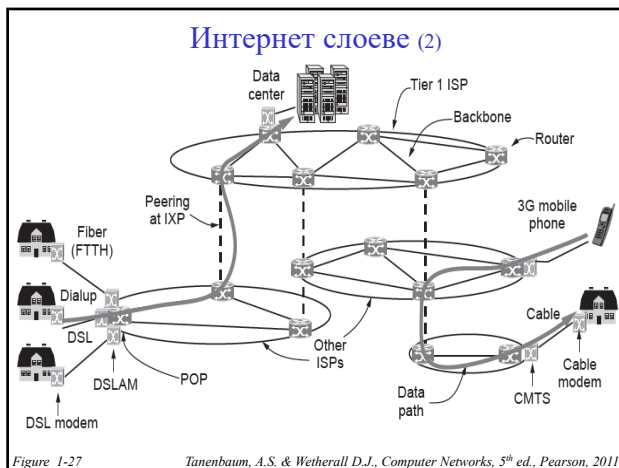
12



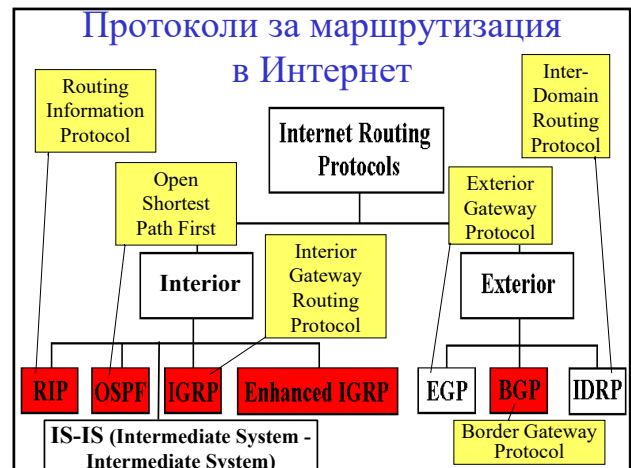
13



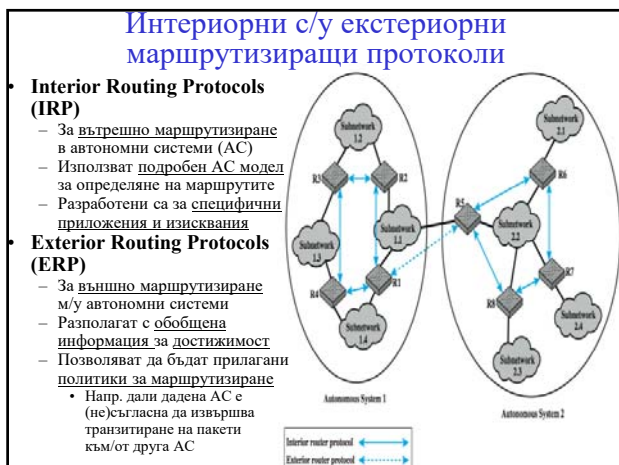
14



15



16



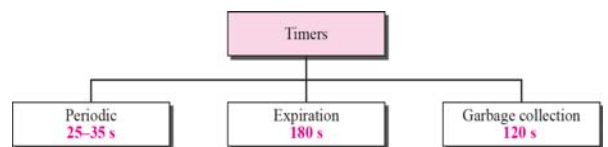
17



18

## RIP

- Измерва разстоянията в **брой скокове (hop counts)**
  - Брой скокове = брой на междинни маршрутизатори
- Всеки маршрутизатор изпраща **цялата** си маршрутизираща таблица на **съседите** си
  - Приблизително на всеки 30 сек.
  - RIP съобщенията са капсулирани в UDP дейтаграми (порт: 520)
  - Периодът се избира произволно между 25 и 35 сек.
    - За да се предотврати претоварване на (интер)мрежата
- Дадено местоназначение се счита за **недостъпно**, ако **не** е актуализирано в рамките на 180 сек.
  - Броят на скоковете към това местоназначение се фиксира на 16
- Местоназначението се **изтрива** от маршрут. таблица, ако **не** се актуализира допълнително в рамките на следващите 120 сек.



19

## RIP недостатъци:

## Бавна сходимост (slow convergence)

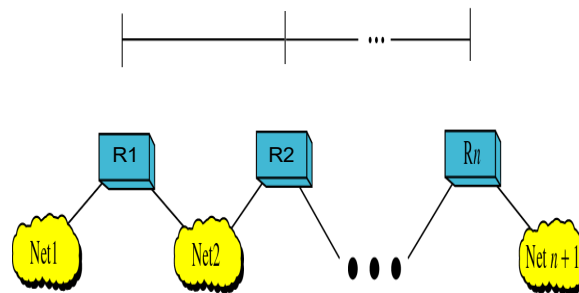
0 seconds      15 seconds       $n \times 15$  seconds

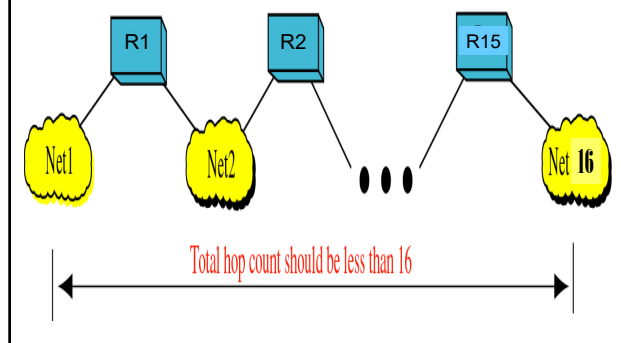
Figure 13-11

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suit, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 2003

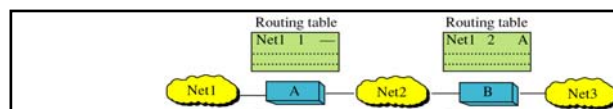
20

## Решение на бавната сходимост:

## Ограничен брой скокове



21



## RIP

## Недостатъци:

Броене до  
безкрайност  
(count-to-  
infinity)

Figure 13-13

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suit, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 2003

23

## RIP

## Недостатъци:

Броене до  
безкрайност  
(count-to-  
infinity)

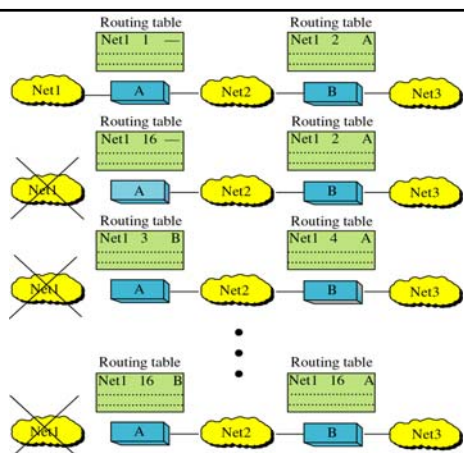


Figure 13-13

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suit, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 2003

24

## Решения на нестабилността

- **Незабавно актуализиране (triggered update)**
- **Разделени хоризонти (split horizons)**
- **Обратно отравяне (poison reverse)**

25

### Незабавно актуализиране (triggered update)

- Ако няма промяна в мрежата, актуализациите се изпращат на всеки ~30 сек.
- Ако има промяна, актуализирането се **извършва незабавно!**
  - При получаване на актуализация, съдържаща промяна, всеки маршрутизатор препраща веднага новата информация към своите съседи.
- Методът НЕ може да се справи с промени, свързани с неизправности в самите маршрутизатори.

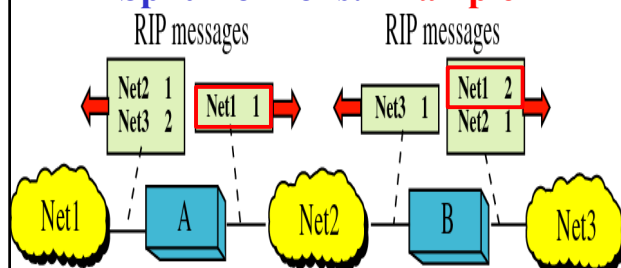
26

### Разделени хоризонти (split horizons)

- Избирателност при изпращане на актуализации за маршрути
- Маршрутизаторите правят разлика между различните си интерфейси
- Актуализираща информация НЕ се изпраща никога обратно към интерфейс, през който е пристигнала!

27

### Split Horizons: Example



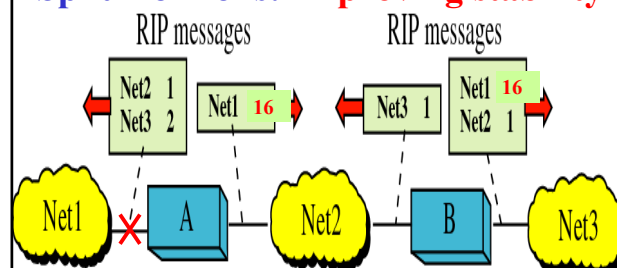
- B** has received information about Net1 through its left interface
- This info is updated and passed on through its right interface but not to left interface

Figure 13-14

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suite, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 2003

28

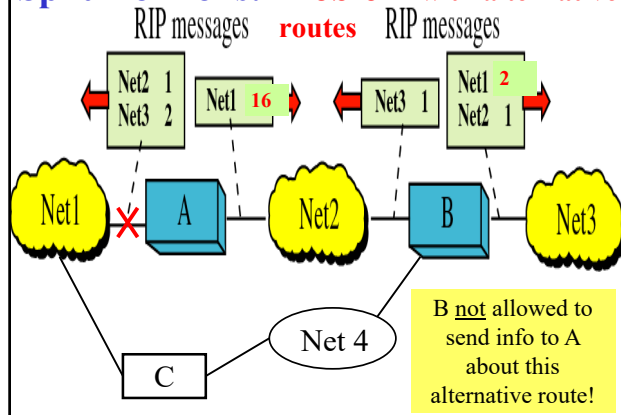
### Split Horizons: Improving stability



- If Net1 is inaccessible to **A**, **B** does not send information about Net1 to **A**. Router **A** therefore has 1 entry for Net1 cost (16), and is not fooled into thinking that there is back-door access to Net1.
- A** sends its routing table to **B** and both will then end up with cost of 16 for Net1.

29

### Split Horizons: Problem with alternative routes



**B not allowed to send info to A about this alternative route!**

30

### Обратно отравяне (poison reverse)

- Вариация на „разделените хоризонти“ (split horizons)
- Всеки маршрутизатор препраща новопостъпила актуализираща информацията към всичките си интерфейси (вкл. към интерфейса, през който я е получил), но (само за него) с разстояние=16.

31



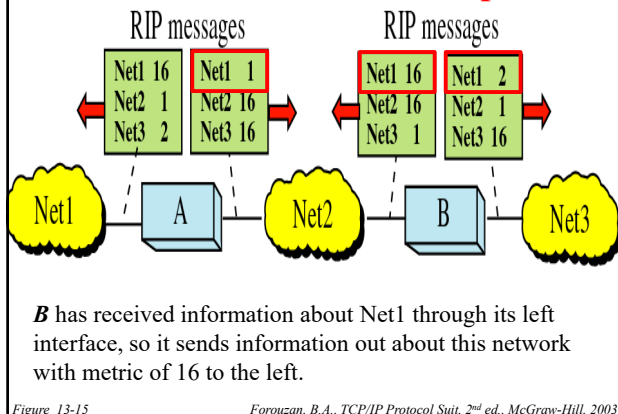
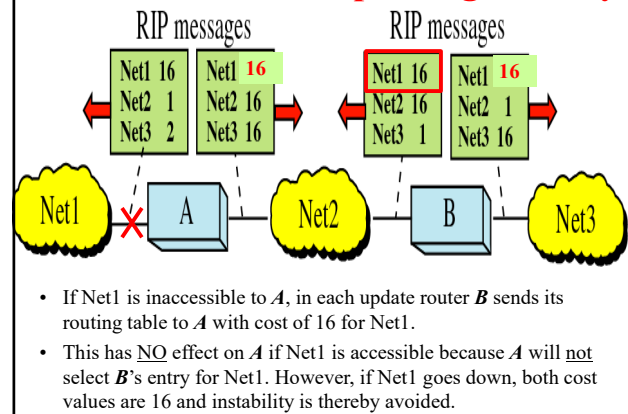
**Poison Reverse: Example**

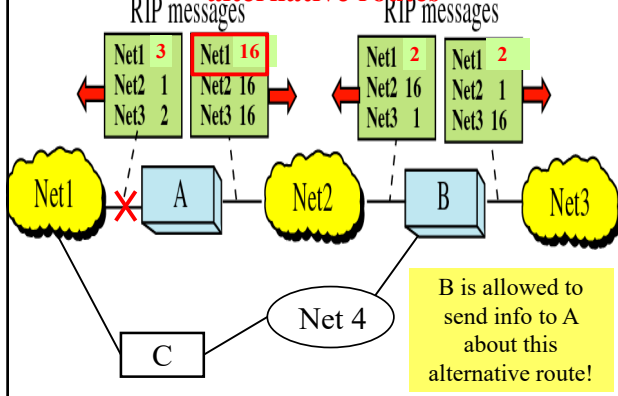
Figure 13-15

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suite, 2nd ed., McGraw-Hill, 2003

32

**Poison Reverse: Improving stability**

33

**Poison Reverse: NO Problem with alternative routes**

34

**RIP: Предимства и недостатъци****Предимства:**

- Прост за използване
- Лесен за реализация

**Недостатъци:**

- С разрастването на Интернет актуализациите за маршрутите в него стават все по-големи и **консумират значително повече пропускателна способност**
- **НЕ е подходящ** за използване с други **по-реалистични метрики** (натоварване, забавяне, ...), тъй като MAX стойност на разстоянието е само 16
- **Няма поддръжка на алтернативни маршрути**
- **Бавна сходимост**
  - Реагира бързо на добрите новини, но лежерно на лошите!
- **Нестабилност**

35

**RIP2****Подобрения:**

- Използва 2 метрики:
  - Пропускателна способност
  - Брой скокове
- Поддръжка на CIDR
- Автентикация на маршрутизаторите
  - Предотвратява измами с фалшива маршрут информация
- Използва multicasting (към съседите) вместо broadcasting
  - По този начин изключва хостовите и намалява трафика
- Пренася повече информация (напр. за подмрежовата маска)
- RFC 2453

36

**Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)**

- **Интериорен дистанционно-векторен** маршрутизиращ протокол (на Cisco)
- Създаден отчасти, за да се преодолеят ограниченията на RIP (напр. MAX брой скокове само 15, изп. на една единствена метрика) за приложение в големи мрежи
- Поддържа множество метрики
  - Пропускателна способност, натоварване, закъснение, MTU, надеждност
  - Комбинирани посредством формула в една композитна метрика, която може да се калибрира чрез използването на тегловни коефициенти.
- **Няма поле за подмрежовата маска!**
  - Маршрутизаторът предполага, че адресите на всички негови интерфейси използват една и съща подмрежова маска.

37

## Enhanced IGRP (EIGRP)

- **Интериорен дистанционно-векторен** маршрутизиращ протокол (на Cisco)
  - Наследник на IGRP
- **Балансирано хибридно IP** маршрутизиране, използващо оптимизации за минимизиране на:
  - Нестабилността на маршрут. таблици при промени в топологията
  - Натоварването на мрежата
  - Използваната процесорна мощ от страна на маршрутизаторите
- Оптимизацията на маршрутизирането се базира на **Diffusing Update Algorithm (DUAL)**:
  - Гарантира липса на затворени маршрути
  - Избягва **броенето до безкрайност (count-to-infinity)**, когато дестинацията става напълно недостъпна.
- Множество метрики
  - Пропускателна способност, натоварване, закъснение, надеждност
  - Комбинирани посредством формула в композитна метрика:
 
$$\left[ \left( K_1 \cdot \text{Bandwidth}_S + \frac{K_2 \cdot \text{Bandwidth}_S}{256 - \text{Load}} + K_3 \cdot \text{Delay}_S \right) \cdot \frac{K_5}{K_4 + \text{Reliability}} \right] \cdot 256$$
  - Тегловни коефициенти (Ki)
    - Задавани от мрежовия администратор за възпроизвеждане на различни поведения
    - Трябва да имат една и съща зададена стойност във всички маршрутизатори в EIGRP AS; в противен случай може да се стигне до постоянно зацикляне при маршрутизирането.

38

# OSPF Protocol

(Open Shortest Path First)



**Интериорен маршрутизиращ протокол с използване на състоянието на линиите**

39

## OSPF

- Основен интериорен протокол в Интернет (вместо RIP)
  - RFC 2328
- Всеки маршрутизатор
  - Поддържа описания на състоянието на своите **локални линии**
  - Предава актуализираща информация към **всички маршрутизатори** (използвайки наводнение/flooding)
    - На всеки 30 мин., или
    - **Независимо в случай на промяна на състоянието на някоя линия**
- OSPF съобщения (капсулирани в IP пакети):
  - **Hello**
    - За създаване на съседски взаимоотношения и тестване достижимостта на съседните маршрутизатори (на всеки 10 сек.)
  - **Link State (LS) Request**
    - Изпраща се от маршрутизатор, който се нуждае от информация за определен маршрут.
  - **Link State Database (LSD) Description**
    - Изпраща се към нов съсед (свързан към мрежата за първи път или след повреда)
  - **LS Update**
    - За периодично обновяване на състоянието на линиите
  - **LS ACK**
    - Положителен отговор на LS Update
- Най-краткият път се изчислява с помощта на:
  - Алгоритъм на **Dijkstra** (най-често използван)
  - Потребителски метрики (закъснение, пропуск. способност и др.)

40

## Предимства:

- **Бърза сходимост**
- **Разнообразие от метрики (изп. в комбинация)**
  - Физическо разстояние, закъснение, пропуск. способност, цена (€) и др.
  - Вариращи от 1 до 65535
- **Маршрутизиране, базирано на Type of Service (ToS).**
  - Позволява маршрутизиране на трафик в реално време по един начин, а на друг (по вид) трафик – по друг начин.
- **Балансиране на натоварването (load balancing)**
  - Разделяне на натоварването по няколко маршрута с (почти) еднаква стойност.
    - **Недостатък:** Увеличава шанса за доставка на пакети НЕ по реда им на следване и се отразява зле на изчисляването на RTT от страна на TCP.
  - **Equal-Cost MultiPath (ECMP)** – за трафик инженерство (traffic engineering)
- **Автентикация на маршрутизаторите**
- Използва **multicasting** вместо **broadcasting**, за да намали натоварването на възлите, които не поддържат OSPF.
- **Иерархично маршрутизиране**

## Недостатъци:

- **Твърде сложен** за използване в малки AS
- **Големи изисквания** към размера на използваната памет и изчислителната мощ

## OSPF:

## Предимства

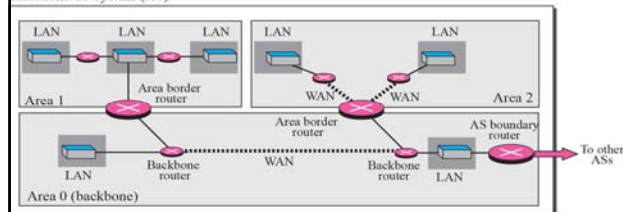
## и

## недостатъци

41

- Много AS са доста големи и нетривиални
  - Разделени са на номерирани области (**areas**), идентифицирани от 32-битови числа.
  - Подобрена мащабируемост и ограничен наводняващ трафик
- Области
  - НЕ се припокриват (но някои маршрутизатори могат да НЕ принадлежат към някоя зона)
  - Топологията и детайлите им НЕ се виждат отвън
  - Всички области са свързани чрез гръбначна/опорна зона (area 0)
- Маршрутизатори
  - Вътрешни (в рамките на дадена зона) – използват една и съща БД (LSD), един и същ алгоритъм за най-краткия път и наводняват една и съща зона с маршрут. информация.
  - **Погранични (area border routers)** – обобщават информацията за зоната и я изпращат на другите зони

Autonomous System (AS)



42

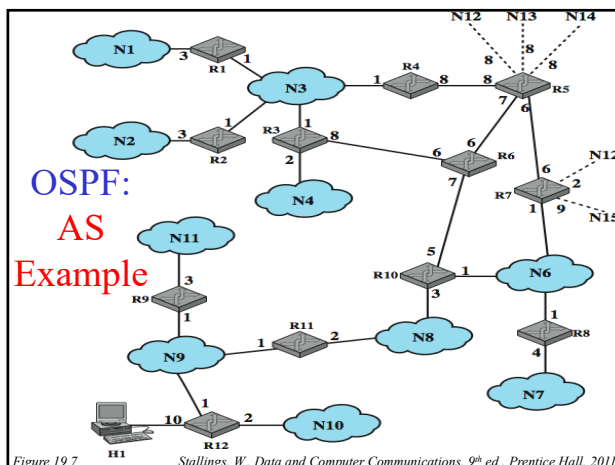


Figure 19.7

Stallings, W., Data and Computer Communications, 9th ed., Prentice Hall, 2011

47

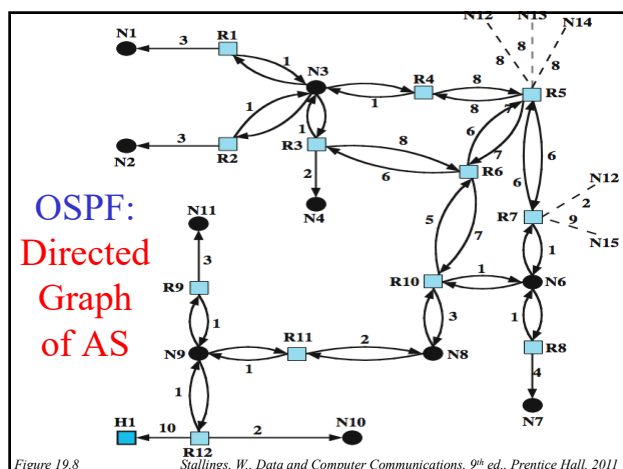


Figure 19.8

48

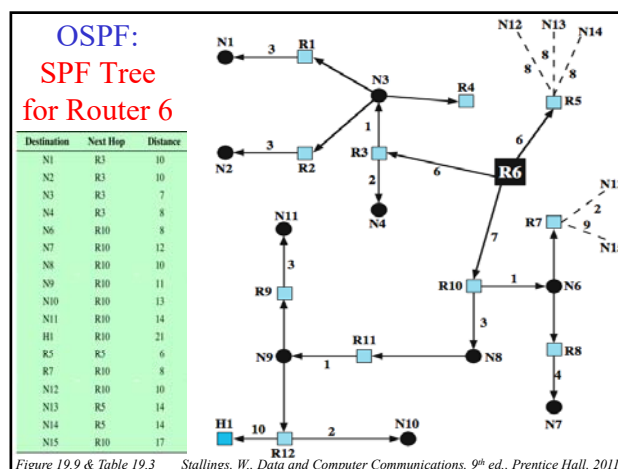


Figure 19.9 & Table 19.3 Stallings, W., *Data and Computer Communications*, 9<sup>th</sup> ed., Prentice Hall, 2011

49

## Екстериорни маршрутизиращи протоколи

- Дистанционно-векторните протоколи и протоколите, използващи състоянието на линиите, НЕ са ефективни за екстериорно маршрутизиране.

Дистанционно-  
векторни  
маршрутизиращи  
протоколи

Маршрутизиращи  
протоколи,  
използващи  
състоянието  
на линиите

- Приемат, че маршрутизаторите използват едни и същи метрики, но различните автономни системи могат да имат различни приоритети и потребности;
  - НЕ поддържат информация за автономните системи, посетени по маршрута.
- 
- Различните автономни системи могат да използват различни метрики и да налагат различни ограничения
  - Наводяването е маршрутизираща информация към всички маршрутизатори обаче е неуправляемо!

52

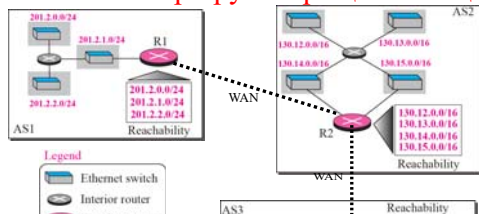
Екстериорна маршрутизация:  
Пътно-векторен подход (Path-Vector)

- **Алтернативен подход**
  - Предоставя информация за това кои мрежи са достижими от даден маршрутизатор и през кои автономни системи трябва се премине
  - НЕ включва мярка за разстояние или приблизителна оценка на разходите
  - НЕ използва концепцията за маршрутизиране по показатели/метрики
- Използва списък на всички автономни системи, по които да се премине по маршрута.
- Позволява маршрутизаторите да използват политики за маршрутизиране
  - Напр. избягване на транзит през определени автономни системи
  - Напр. скорост на линията, капацитет, тенденция към претоварване, цялостно качество на работа, сигурност.
  - Напр. намаляване броя на транзитните автономни системи

53

## Пътно-векторно маршрутизиране:

### Първоначални маршрутизиращи таблици



**Говорител (boundary router)**

ВЪВ ВСЯКА АВТОНОМ. СИСТЕМА:

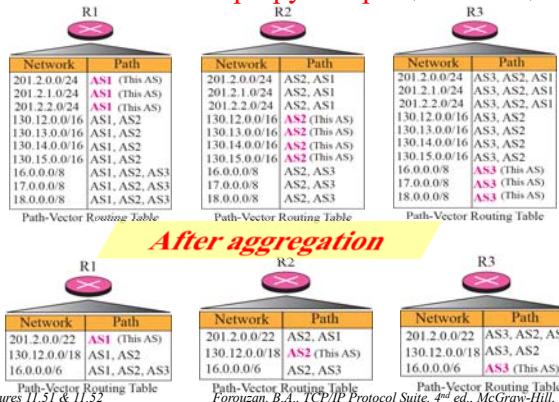
- Създава маршрут. таблица
- Рекламира я на другите говорители в съседните автономни системи

- Само говорителите могат да комуникират помежду си

Figure 11.50

54

### Пътно-векторно маршрутизиране: Окончателни маршрутизиращи таблици



Path-Vector Routing Table

55



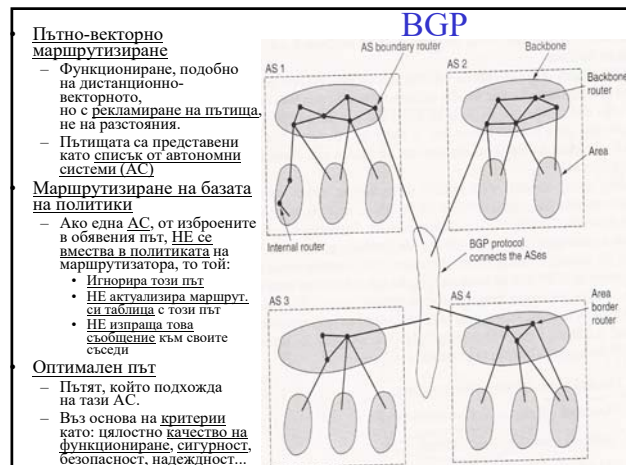
# BGP

(Border Gateway Protocol)

↓

**Екстериорен**  
**пътно-векторен**  
**маршрутизиращ протокол**

56



57

## BGP: Видове АС

- **Stub** (single-homed) AS
  - Само с 1 връзка към останалата част от Интернет (само 1 връзка в BGP графа)
  - Само източник или получател на данни
  - Без транзитиране на данни (на други АС)
- **Multi-homed** AS
  - С повече от 1 връзка към други АС
  - Все още само източник или получател на данни
  - Без транзитиране на данни
- **Transit** AS
  - Гръбначна АС, която позволява транзитен трафик.
  - Транзитира IP пакети на други АС, но с ограничения и срещу заплащане.

58

## BGP: Сесии

- Обмен на маршрут. информация м/у 2 маршрутизатора по **ТСР съединение**, което е:
  - Полупостоянно
  - Поддържано отворено за дълго време, докато не възникне нещо необичайно.
- 2 вида
  - **Външни** (E-BGP sessions) – за обмен на информация между 2 (гранични) маршрутизатора, разположени в 2 различни АС.
  - **Вътрешни** (I-BGP sessions) – за обмен на информация между 2 маршрутизатора в една АС

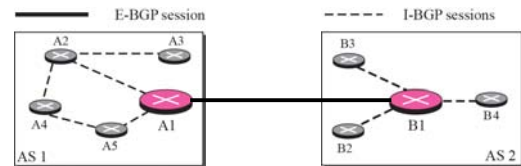


Figure 11.53

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suite, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2010

60

## BGP: Съобщения

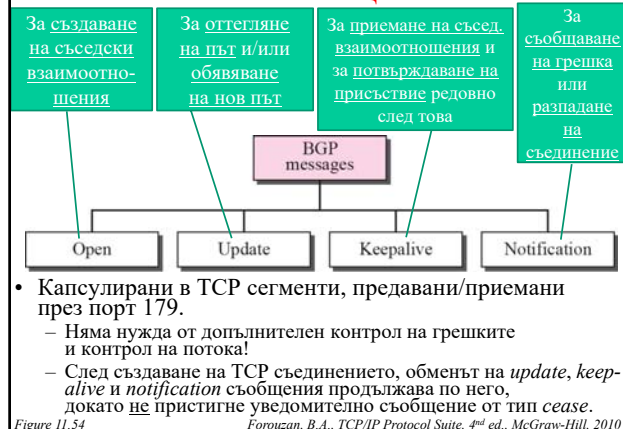


Figure 11.54

Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suite, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2010

61