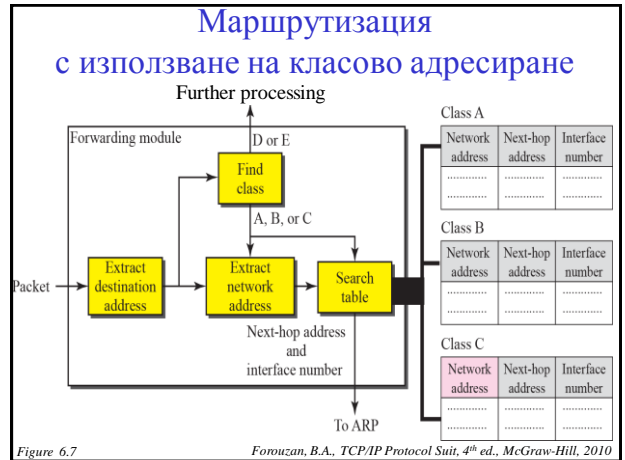
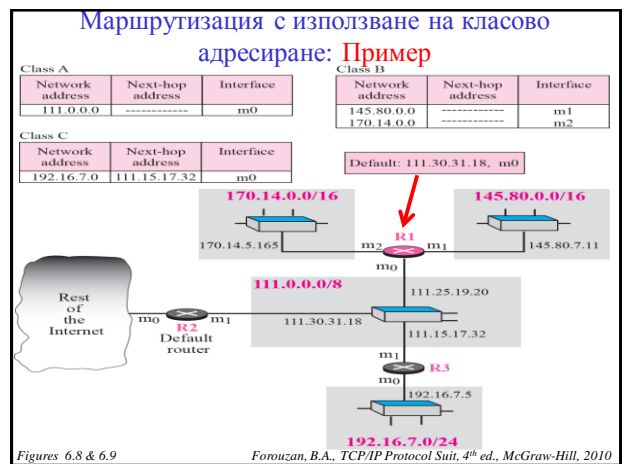


Маршрутизация в Интернет

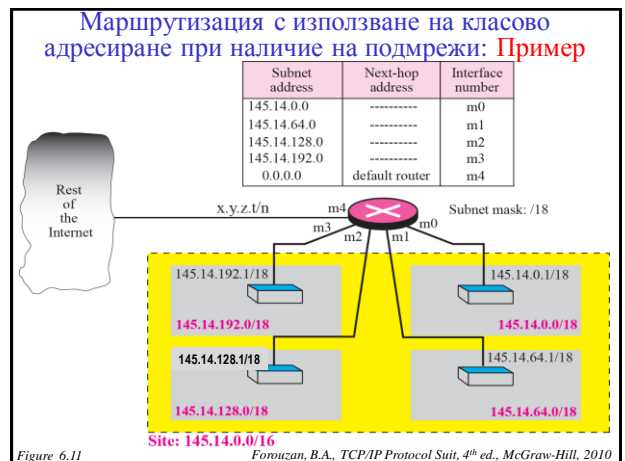
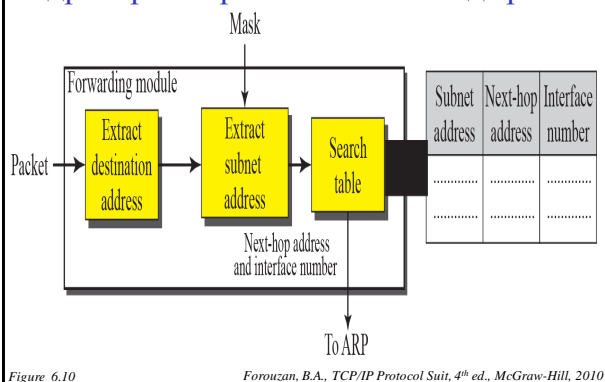


Маршрутизация с използване на класово адресиране (прод.) Маршрутизатор:

- 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
 - Претърсва съответната таблица до намиране на NetID
 - Прочита от таблицата номера на съответния изх. интерфейс
 - Изпраща пакета към този интерфейс



Маршрутизация с използване на класово адресиране при наличие на подмрежи



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

CIDR: Longest Prefix Match

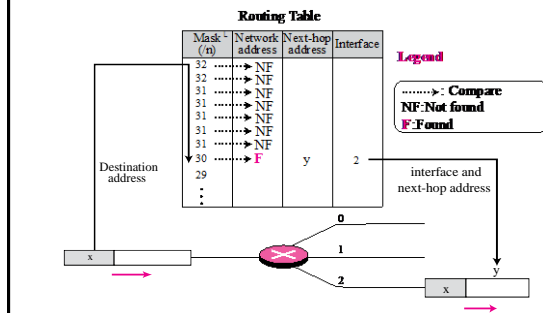


Figure 6.18

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

Интернет: Географска структура

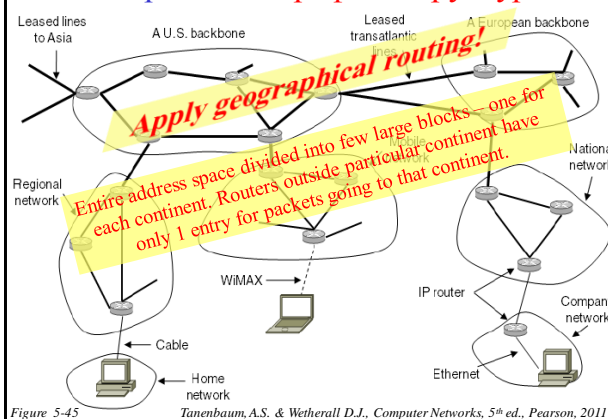


Figure 5-45

Tanenbaum, A.S. & Wetherall D.J., Computer Networks, 5th ed., Pearson, 2011

Интернет: Иерархична структура

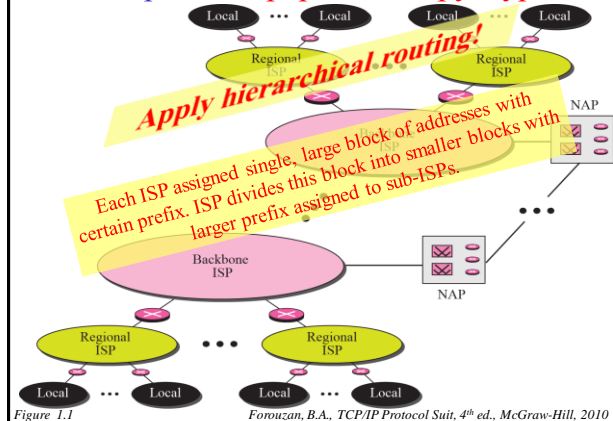


Figure 1.1

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

Интернет: Иерархична маршрутизация, извършвана от доставчиците на Интернет (ISP)

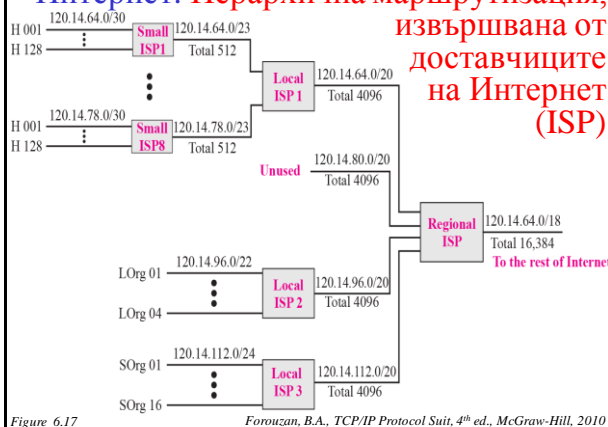


Figure 6.17

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

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

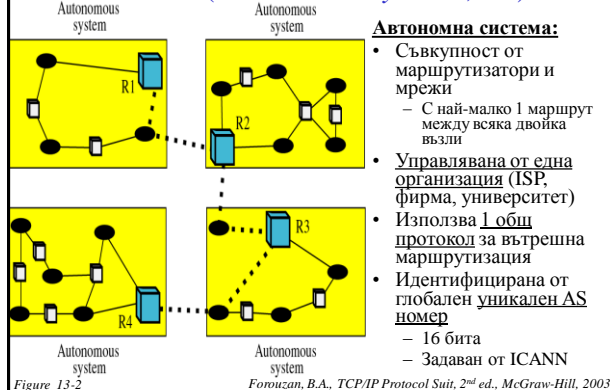
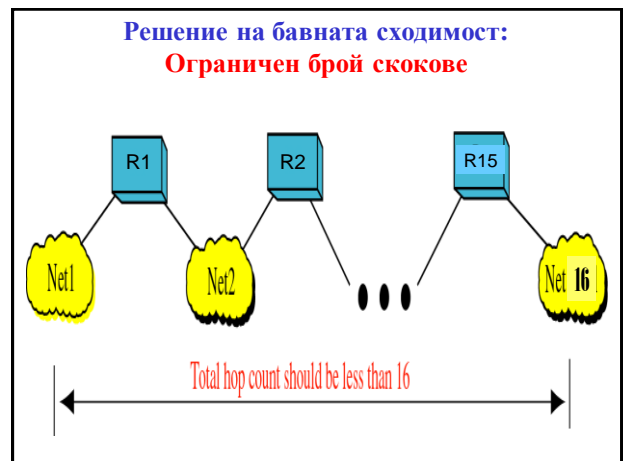
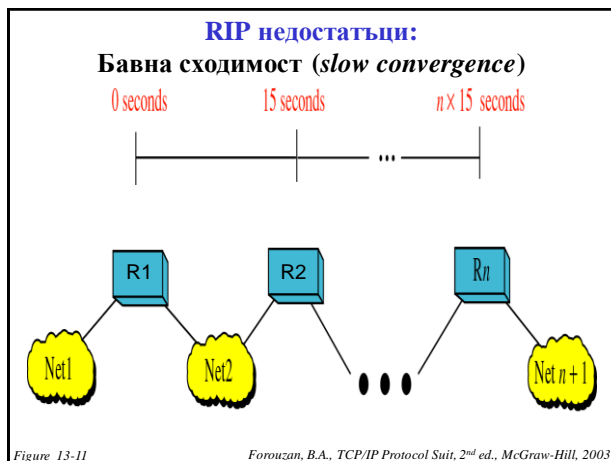
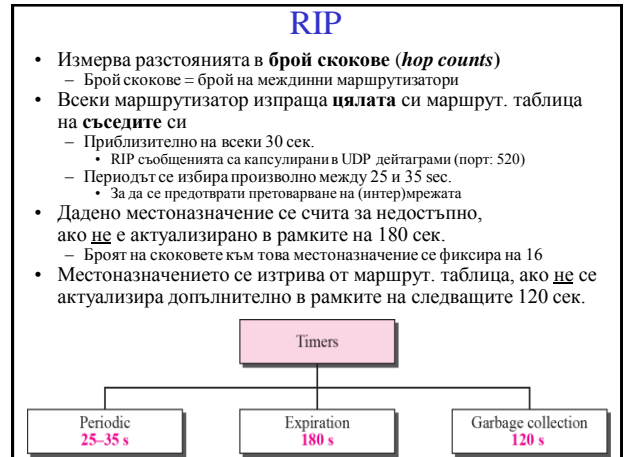
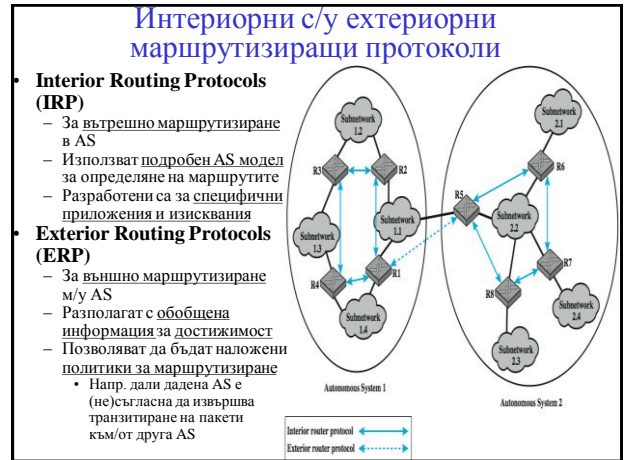
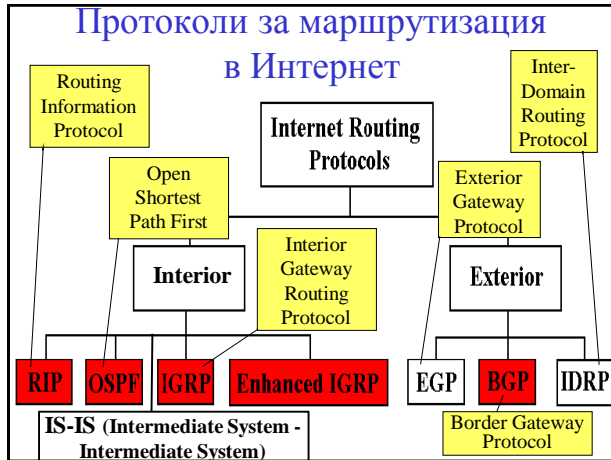


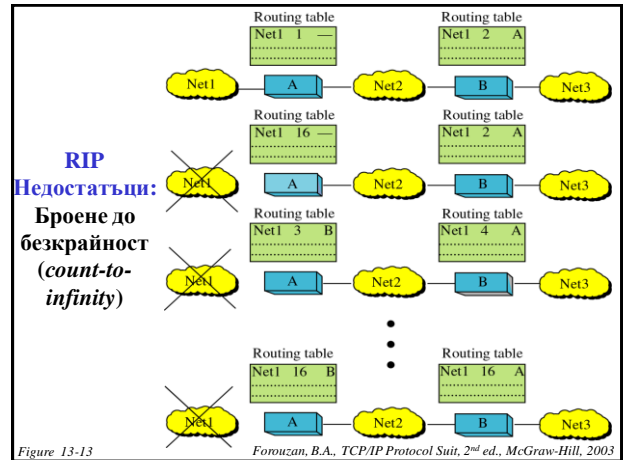
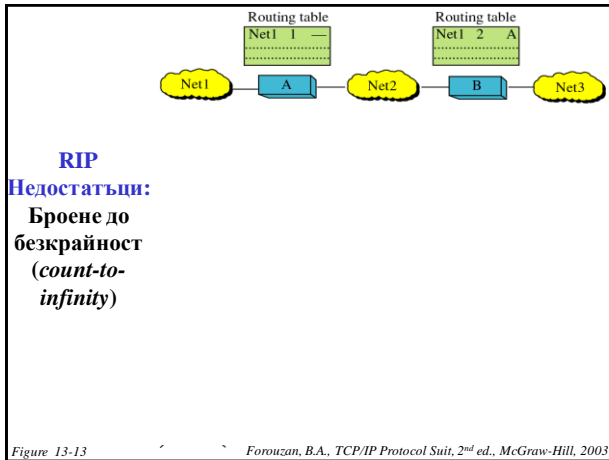
Figure 13-2

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

Автономна система:

- Съвкупност от маршрутизатори и мрежи
 - С най-малко 1 маршрут между всяка двойка възли
- Управлявана от една организация (ISP, фирма, университет)
- Използва 1 общ протокол за вътрешна маршрутизация
- Идентифицирана от глобален уникален AS номер
 - 16 бита
 - Задаван от ICANN





Решения на нестабилността

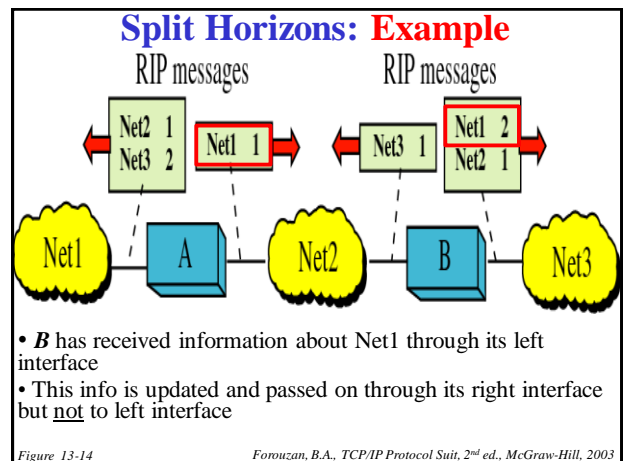
- Незабавно актуализиране (*triggered update*)
- Разделени хоризонти (*split horizons*)
- Обратно отравяне (*poison reverse*)

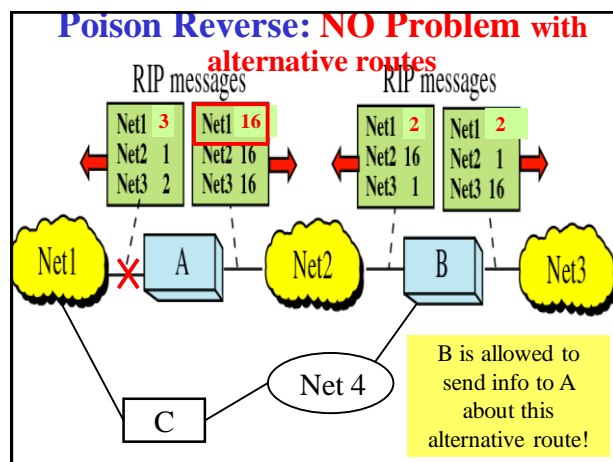
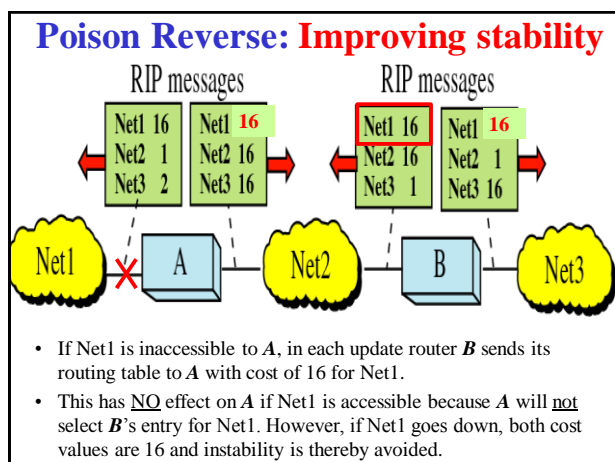
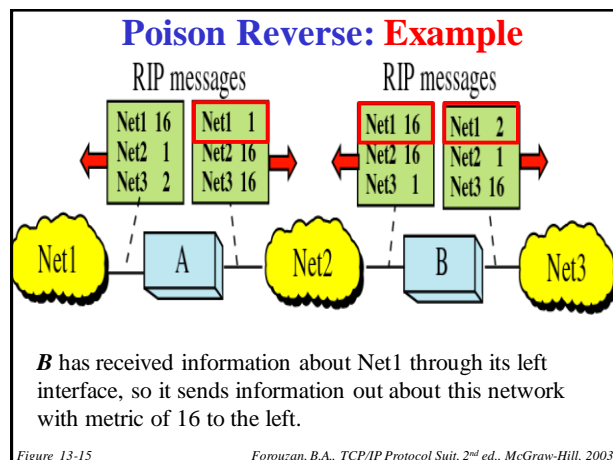
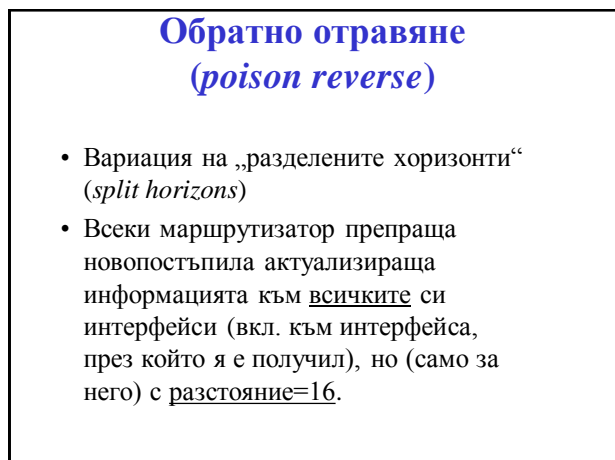
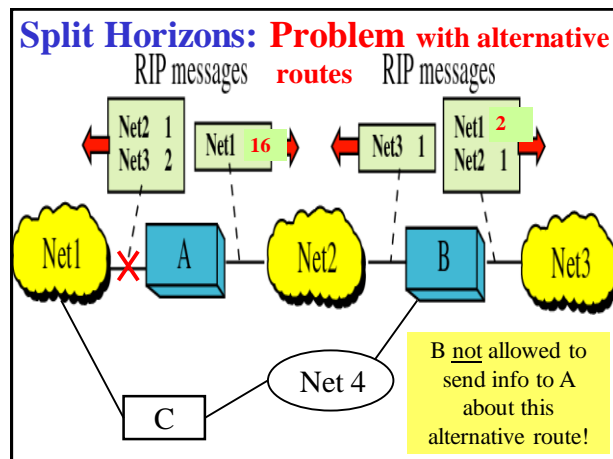
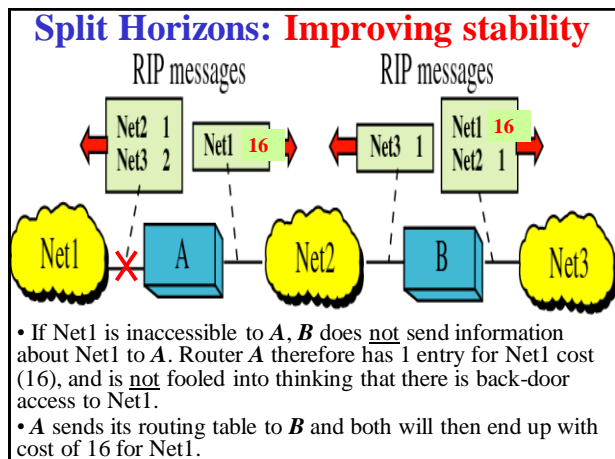
Незабавно актуализиране (*triggered update*)

- 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.

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 дошла!





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**

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 хостовете и намалява трафика
- Пренася повече информация (напр. за подмрежовата маска)
- RFC 2453

Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)

- Интериорен дистанционно-векторен маршрутизиращ протокол (на Cisco)
- Създаден отчасти, за да се преодолеят ограниченията на RIP (мапр. 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.

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, MTU, надеждност*
 - Комбинирани посредством формула в композитна метрика:
 - $[(K1 * bandwidth) + ((K2 * bandwidth) / (256 - load)) + (K3 * delay)] * [(K5 / (reliability + K4))] * 256$
 - 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.

OSPF Protocol

(Open Shortest Path First)



Интериорен маршрутизиращ
протокол *с използване на*
състоянието на линиите

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
 - **Незабавно 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) Database Description*
 - Изпраща се към нов съсед (свързан към мрежата за първи път или след повреда)
 - *LS Request*
 - Изпраща се от маршрутизатор, който се нуждае от информация за определен маршрут.
 - *LS Update*
 - За периодично рекламиране на състоянието на линиите
 - *LS ACK*
 - Положителен отговор на LS Update
- Най-краткият път се изчислява с помощта на:
 - Алгоритъм на Dijkstra (обикновено)
 - Потребителски метрики (*закъснение, пропуск. способност и др.*)

Предимства:

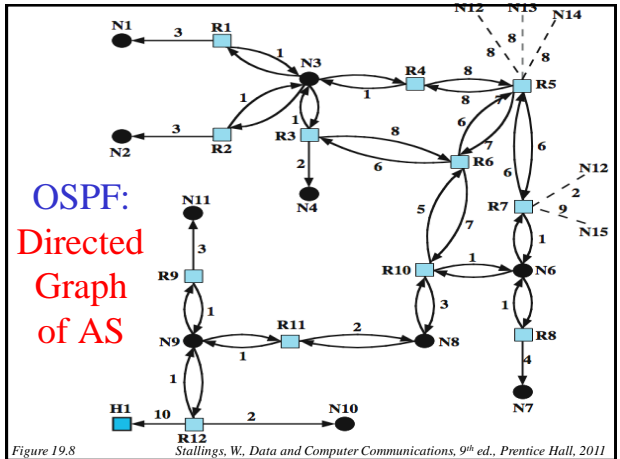
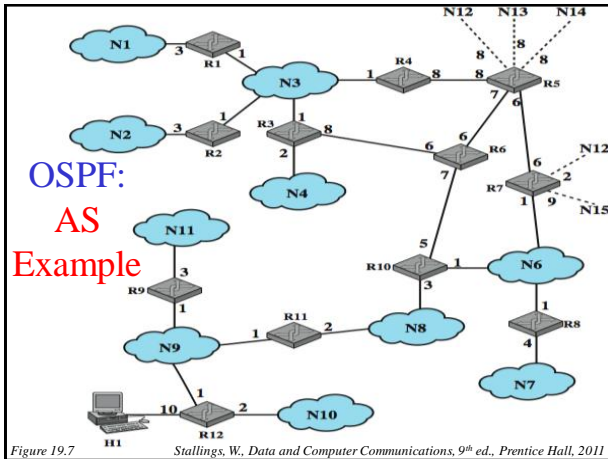
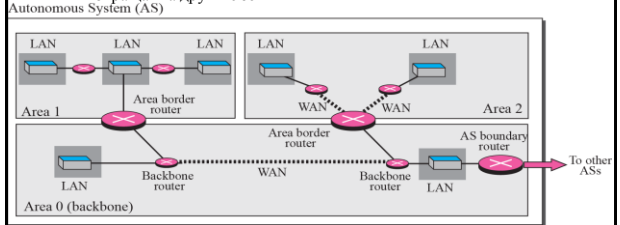
- **Бърза сходимост**
- **Разнообразие от метрики (изп. в комбинация)**
 - Физическо разстояние, закъснение, пропуск. способност, цена (€) и др.
 - Вариращи от 1 до 65535
- **Маршрутизиране, базирано на Type of Service (ToS).**
 - Позволява маршрутизиране на трафик в реално време по един начин, а на друг (по вид) трафик – по друг начин.
- **Балансиране на натоварването**
 - 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 изп. памет и изчислителната мощ

OSPF:**Предимства****и недостатъци****OSPF:****Области**

- 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 нито една зона)
 - Топологията и детайлите им НЕ се виждат отвън
 - Всички области са свързани чрез гръбначна 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

**OSPF: SPF Tree for Router 6**

| Destination | Next Hop | Distance |
|-------------|----------|----------|
| N1 | R3 | 10 |
| N2 | R3 | 10 |
| N3 | R3 | 7 |
| N4 | R3 | 8 |
| N6 | R10 | 8 |
| N7 | R10 | 12 |
| N8 | R10 | 10 |
| N9 | R10 | 11 |
| N10 | R10 | 13 |
| N11 | R10 | 14 |
| H1 | R10 | 21 |
| R5 | R5 | 6 |
| R7 | R10 | 8 |
| N12 | R10 | 10 |
| N13 | R5 | 14 |
| N14 | R5 | 14 |
| N15 | R10 | 17 |

Figure 19.9 & Table 19.3 Stalls, W., Data and Computer Communications, 9th ed., Prentice Hall, 2011

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

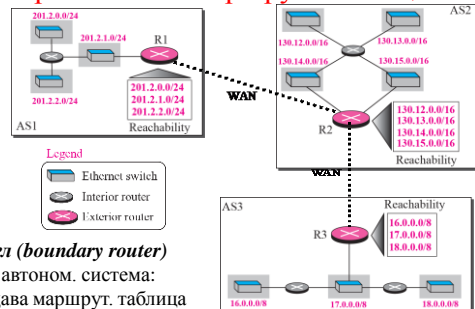
- Приемат, че маршрутизаторите използват едни и същи метрики, но различните автономни системи могат да имат различни приоритети и потребности!
- НЕ поддържат информация за автономните системи, посетени по маршрута.

- Различните автономни системи могат да използват различни метрики и да налагат различни ограничения
- Наводняването с маршрут. информация към всички маршрутизатори обаче е неуправляемо!

Екстериорна маршрутизация: Път-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

Път-векторно маршрутизиране: Първоначални маршрут. таблици



Говорител (boundary router)

във всяка автоном. система:

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

- Само говорителите могат да комуникират помежду си

Figure 11.50 Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suite, 4th ed., McGraw-Hill, 2010

Път-векторно маршрутизиране: Окончателни маршрут. таблици

| Network | Path | Network | Path | Network | Path |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 201.2.0.0/24 | AS1 (This AS) | 201.2.0.0/24 | AS2, AS1 | 201.2.0.0/24 | AS3, AS2, AS1 |
| 201.2.1.0/24 | AS1 (This AS) | 201.2.1.0/24 | AS2, AS1 | 201.2.1.0/24 | AS3, AS2, AS1 |
| 201.2.2.0/24 | AS1 (This AS) | 201.2.2.0/24 | AS2, AS1 | 201.2.2.0/24 | AS3, AS2, AS1 |
| 130.12.0.0/16 | AS1, AS2 | 130.12.0.0/16 | AS2 (This AS) | 130.12.0.0/16 | AS3, AS2 |
| 130.13.0.0/16 | AS1, AS2 | 130.13.0.0/16 | AS2 (This AS) | 130.13.0.0/16 | AS3, AS2 |
| 130.14.0.0/16 | AS1, AS2 | 130.14.0.0/16 | AS2 (This AS) | 130.14.0.0/16 | AS3, AS2 |
| 130.15.0.0/16 | AS1, AS2 | 130.15.0.0/16 | AS2 (This AS) | 130.15.0.0/16 | AS3, AS2 |
| 16.0.0.0/8 | AS1, AS2, AS3 | 16.0.0.0/8 | AS2, AS3 | 16.0.0.0/8 | AS3 (This AS) |
| 17.0.0.0/8 | AS1, AS2, AS3 | 17.0.0.0/8 | AS2, AS3 | 17.0.0.0/8 | AS3 (This AS) |
| 18.0.0.0/8 | AS1, AS2, AS3 | 18.0.0.0/8 | AS2, AS3 | 18.0.0.0/8 | AS3 (This AS) |

After aggregation

| Network | Path | Network | Path | Network | Path |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 201.2.0.0/22 | AS1 (This AS) | 201.2.0.0/22 | AS2, AS1 | 201.2.0.0/22 | AS3, AS2, AS1 |
| 130.12.0.0/18 | AS1, AS2 | 130.12.0.0/18 | AS2 (This AS) | 130.12.0.0/18 | AS3, AS2 |
| 16.0.0.0/6 | AS1, AS2, AS3 | 16.0.0.0/6 | AS2, AS3 | 16.0.0.0/6 | AS3 (This AS) |

Figures 11.51 & 11.52 Forouzan, B.A., TCP/IP Protocol Suite, 4th ed., McGraw-Hill, 2010

BGP

(Border Gateway Protocol)



Екстериорен
път-векторен
маршрутизиращ протокол

Път-векторно маршрутизиране

- Функциониране, подобно на дистанционно-векторното, но с рекламиране на пътища, не на разстояния.
- Пътищата са представени като списък от автономни системи (АС)

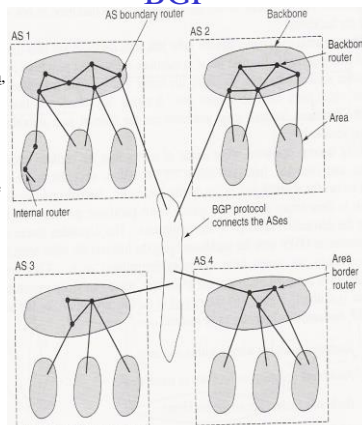
Маршрутизиране на базата на политики

- Ако една АС, от изброените в обявения път, НЕ се вметва в политиката на маршрутизатора, то той:
 - Игнорира този път
 - НЕ актуализира маршрут. таблица с този път
 - НЕ изпраща това съобщение към своите съседи

Оптимален път

- Пътят, който подхожда на тази АС.
- Въз основа на критерии като: цялостно качество на функциониране, сигурност, безопасност, надеждност...

BGP



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.

BGP: Сесии

- Обмен на маршрут. информация м/у 2 маршрутизатора по TCP съединение, което е:
 - Полупостоянно
 - Поддържано отворено за дълго време, докато нещо необичайно не се случи.
- 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

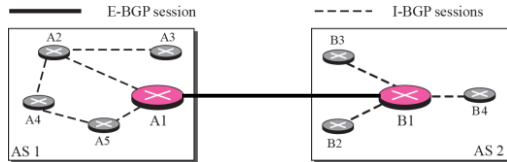
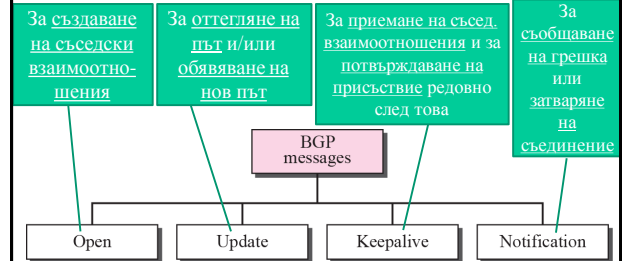


Figure 11.53

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

BGP: Съобщения



- Капсулирани в TCP сегменти, предавани/приемани през порт 179.
 - Няма нужда от допълнителен контрол на грешките и контрол на потока!
 - След създаване на TCP съединението, обменът на *update*, *keep-alive* и *notification* съобщения продължава по него, докато не пристигне уведомително съобщение от тип *cease*.

Figure 11.54

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