

## 5. Ruter

Ruter 5-1

1

### Uvod

- ❑ Šta su ruteri?
  - Uređaji koji određuju rutu kojom se paket prenosi od izvora do destinacije.
- ❑ Kada se obavlja rutiranje?
  - Slanjem paketa na IP adresu
  - IP paket dolazi na ruter
- ❑ Šta rade ruteri?
  - Određuju gdje se nalazi destinacija i kako se ona pomoću tabela rutiranja može doseći
- ❑ Šta su teškoće?
  - Heterogene tehnologije linka
  - Podrška schedulingu različitih klasa
  - Učešće u kompleksnim distribuiranim algoritmima radi generisanja tabela rutiranja
  - Trenutno obezbjeđenje potrebnog kapaciteta

2

## Šta je ruter?

- Računar sa...
  - Više interfejsa
  - Implementira protokole rutiranja
  - Prosleđivanje datagrama
- Veliki broj raznorodnih uređaja
  - Mali uređaji za kućne mreže
  - PC računari pod Linuxom koji izvršavaju softver rutera
  - Visoko performantni uređaji
- ... i linkova
  - Serijski portovi, Ethernet, WiFi, SDH, ...

Ruter 5-3

3

## Komercijalni ruteri

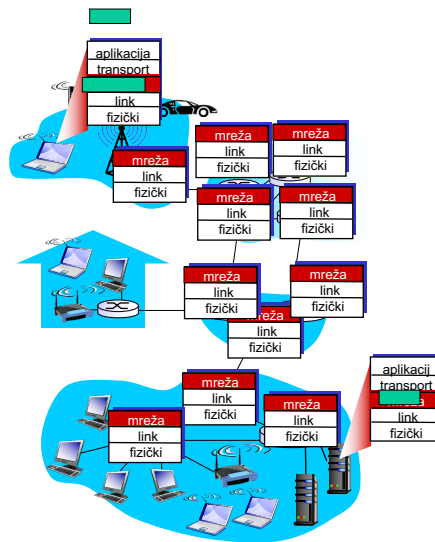
- Ruteri se prodaju kao "crne kutije"
  - Cisco, Juniper, Redback, Avici, ...
  - Nema standardnih interfejsa između komponenta
  - Cisco switch, Juniper cards i Avici software??????
- Proizvođači vs. operatori
  - Proizvođači: prave rutere i poštuju standarde
  - Operatori: kupuju i konfiguriraju rutere
- Trendovi
  - "Open source" PC ruteri (Quagga, Vyatta, ...)
  - Hardverski standardi za komponente (ATCA,...)
  - IETF standardi za neke API-je (ForCES,...)
  - Proizvođači otvaraju djelove svoje platforme za developere

Ruter 5-4

4

## Mrežni nivo

- ❑ Prenos segmenta od pošiljaoca do odredišta
- ❑ Na strani koja šalje enkapsuliraju se segmenti u datagrame
- ❑ Na strani prijema predaja segmenata transportnom nivou
- ❑ Protokoli mrežnog nivoa su implementirani u *svakom* hostu, ruteru
- ❑ Ruter ispituje polja zaglavlja svakog IP datagrama kojeg prosleđuje



Ruter 5-5

5

## Ključne funkcije mrežnog nivoa

- ❑ *prosleđivanje*: pomjeranje paketa sa ulaza rutera na odgovarajući izlaz
  - ❑ *rutiranje*: izbor rute kojom se paketi prenose od izvora do destinacije.
    - *Algoritmi rutiranja*
- analogija:
- *rutiranje*: proces planiranja putovanja
  - *prosleđivanje*: proces prolaska kroz jednu raskrsnicu

Ruter 5-6

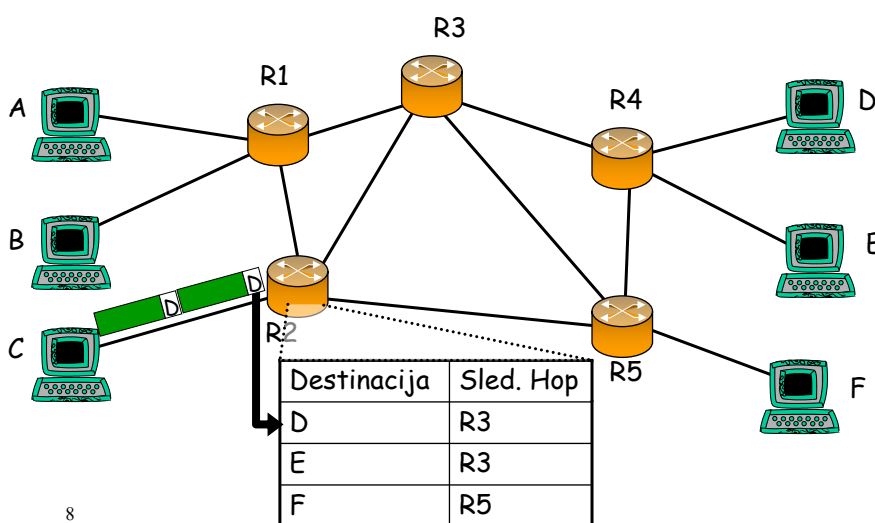
6

## Šta je važno prilikom pronalaženja rute?

- ❑ Performanse od kraja do kraja
  - Kvalitet puta utiče na performanse
  - Propagaciono kašnjenje, propusnost i gubici paketa
- ❑ Iskorišćenost mrežnih resursa
  - Balansiranje saobraćaja preko rutera i linkova
  - Izbjegavanje zagušenja balansiranjem saobraćaja
- ❑ Prolazni poremećaji prilikom promjena
  - Greške, nadzor i balansiranje opterećenja
  - Limitiranje gubitaka paketa i kašnjenje tokom promjena
- ❑ Realizacija biznis ciljeva
  - Maksimalni prihodi i minimalni troškovi
  - Izbjegavanje nepouzdanih puteva

7

## Prosleđivanje

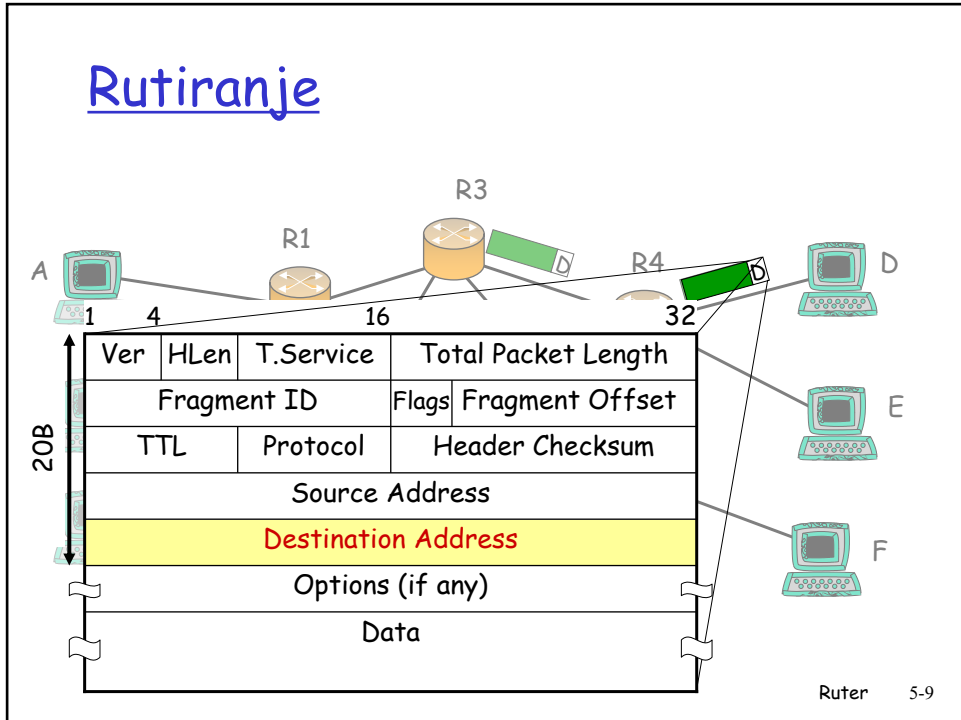


8

Ruter 5-8

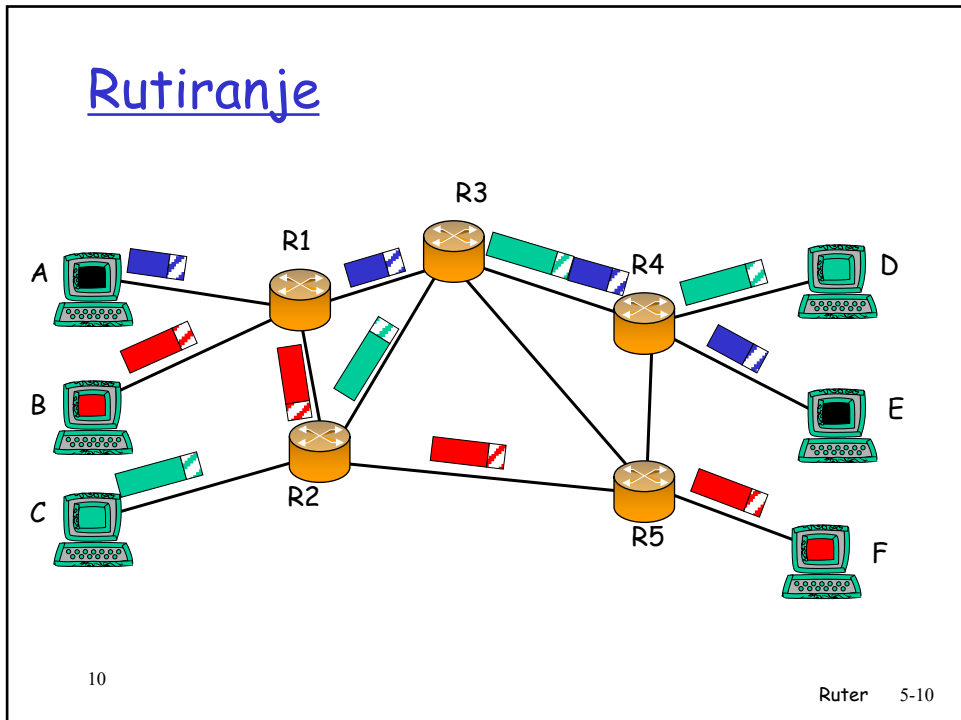
8

# Rutiranje



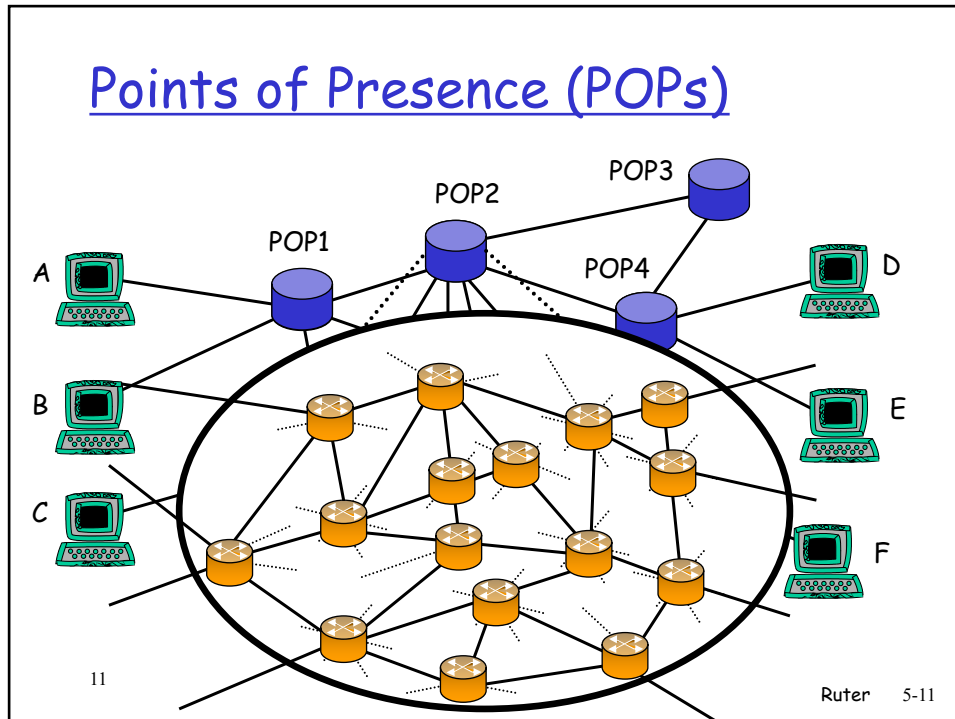
9

# Rutiranje



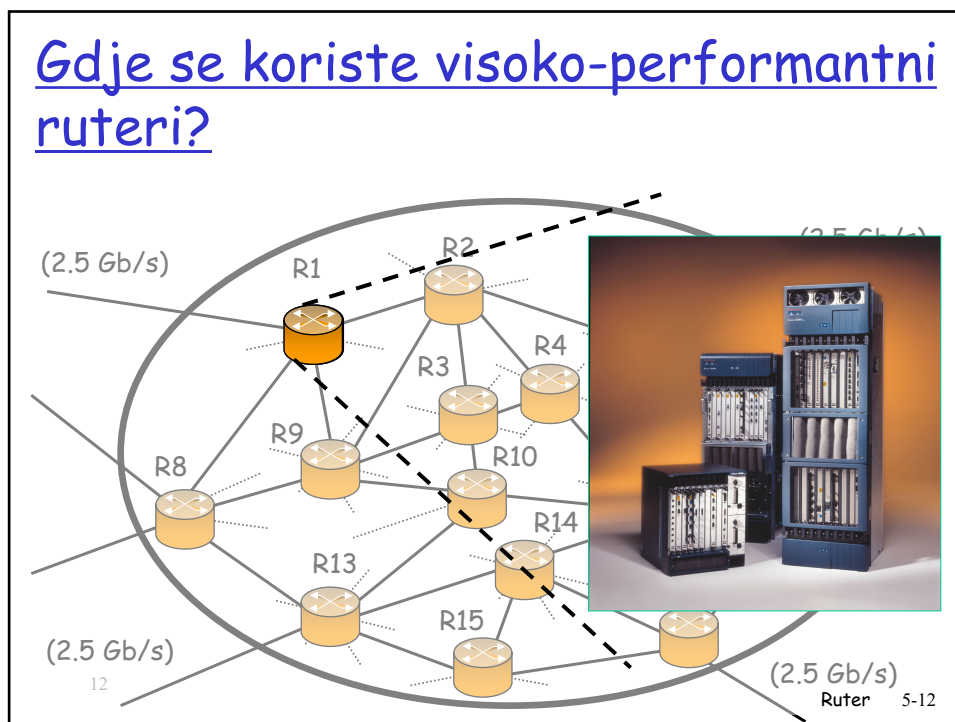
10

## Points of Presence (POPs)



11

## Gdje se koriste visoko-performantni ruteri?



12

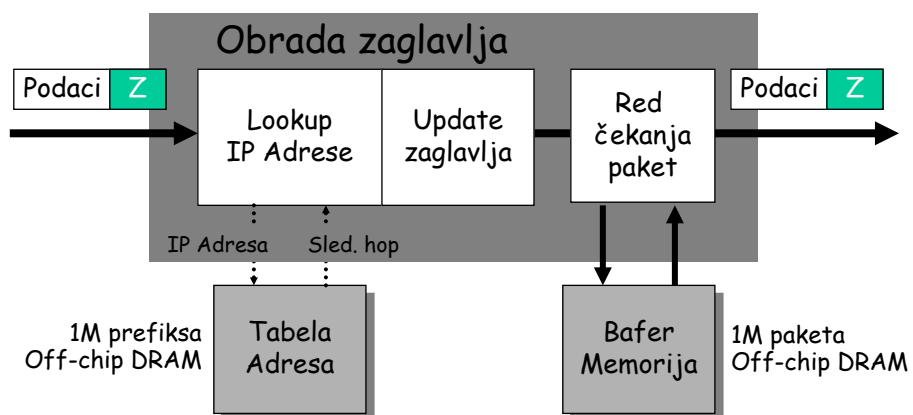
## Funkcije rutera



Ruter 5-13

13

## Generička arhitektura rutera

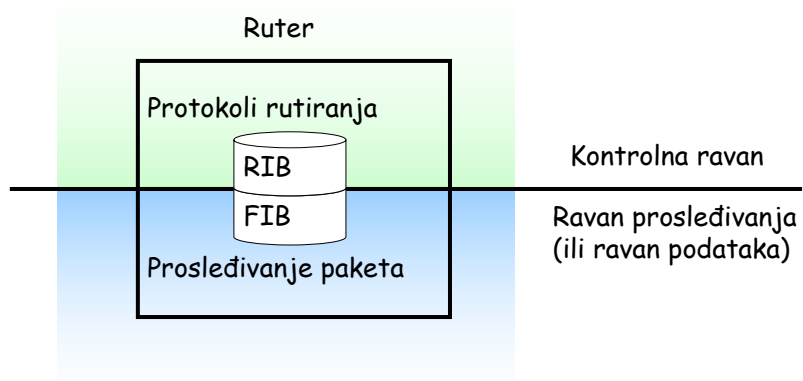


14

Ruter 5-14

14

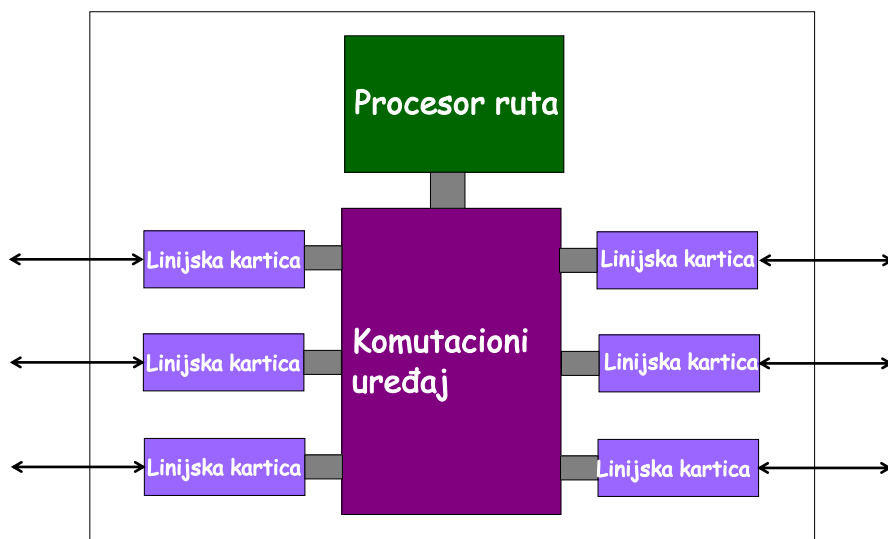
## Fundamentalni dizajn rutera



Ruter 5-15

15

## Struktura



Ruter 5-16

16

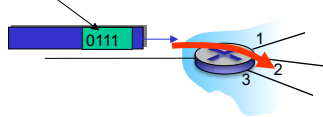


## Mrežni nivo: ravan podataka, ravan kontrole

### Ravan podataka

- Lokalna funkcija rutera
- Determiniše kako se datagram koji dolazi na ulazni port rutera prosleđuje na izlazni port
- Funkcija prosleđivanja

Vrijednosti u zaglavljju datagrama



### Kontrolna ravan

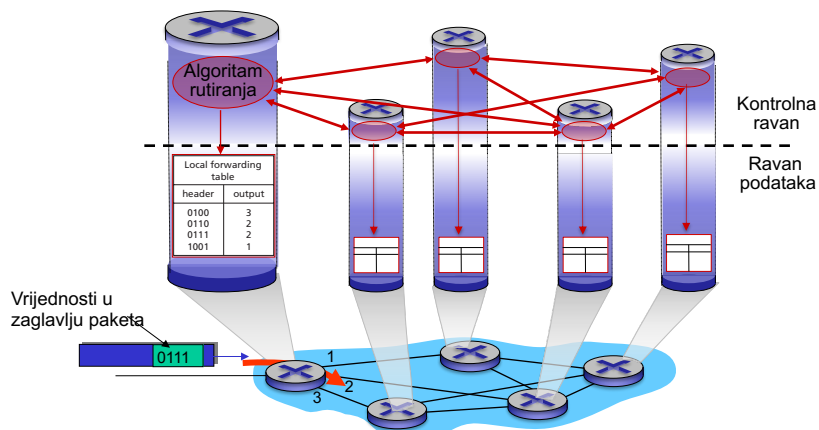
- Mrežna logika
- Određuje kako se datagram rutira duž putanje od kraja do kraja od izvorišnog do odredišnog hosta
- Dva pristupa:
  - *Tradicionalni algoritmi rutiranja*: implementirani u ruterima
  - *software-defined networking (SDN)*: implementirani u udaljenim serverima

Ruter 5-17

17

## Distribuirana kontrolna ravan

Individualni algoritmi rutiranja se izvršavaju samostalno *u svakom ruteru* i interaguju u kontrolnoj ravni

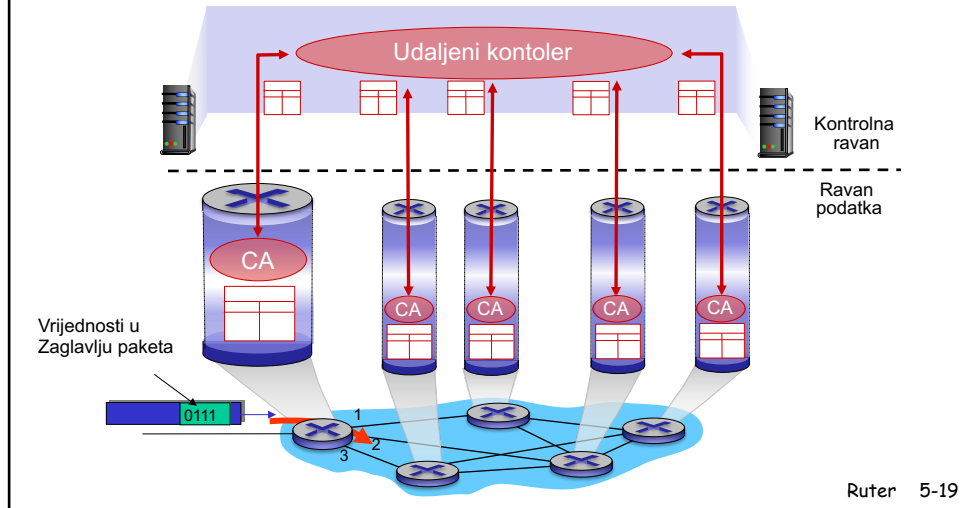


Ruter 5-18

18

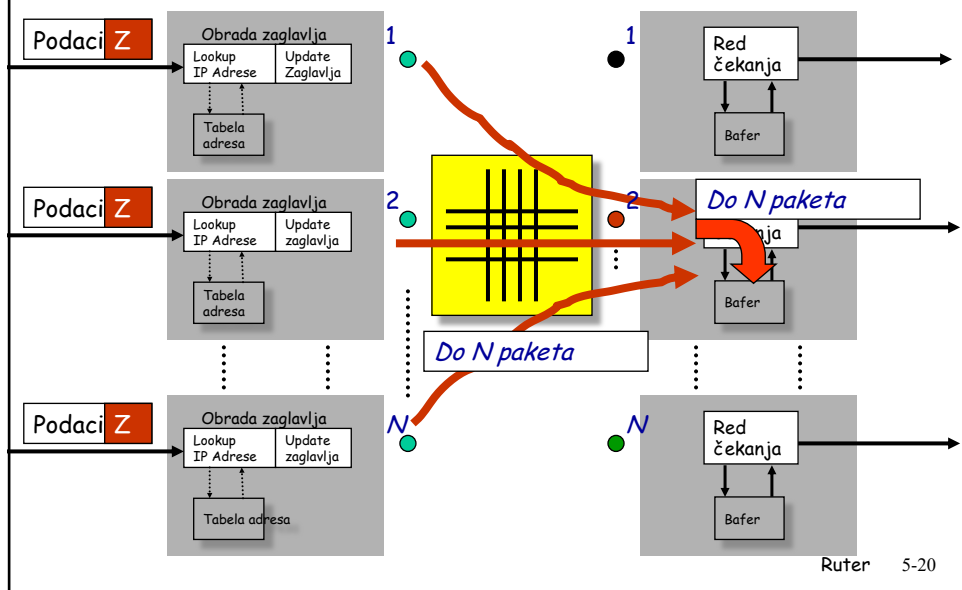
## Centralizovana kontrolna ravan

Udaljeni kontroler interaguje sa lokalnim kontrolnim agentima (CAs)



19

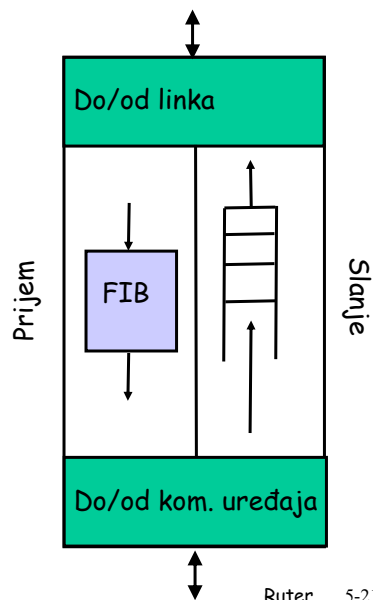
## Komutacioni uređaj



20

## Linijske kartice

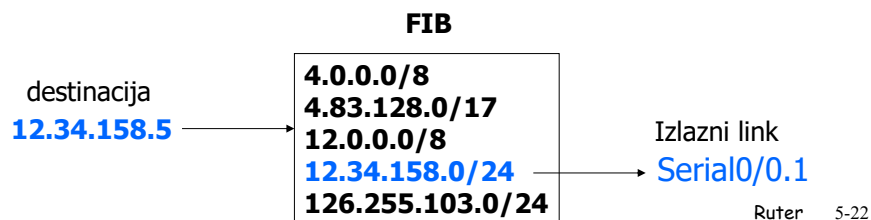
- Povezuju
  - Fizički link
  - Komutacioni uređaj
- Posluživanje paketa
  - Analiza paketa
  - Segmentacija/desegmentacija paketa
  - Ulazno/izlazno baferovanje
  - Tabela prosleđivanja (FIB)
  - Filtriranje paketa (ACL-ovi)
  - Upravljanje baferima
  - Link scheduling (izlaz)
  - Ograničavanje brzine (izlaz)
  - Markiranje paketa
  - Mjerenje



21

## Linijske kartice : Prosleđivanje saglasno najdužem prefiksu

- Forwarding Information Base u IP ruterima
  - Mapira svaki IP prefiks u odgovarajući next-hop link
- Prosleđivanje na bazi destinacije
  - Paket ima destinacionu adresu
  - Ruter identifikuje najduži prefiks i bira odgovarajući link



22

## Linijske kartice: Najjednostavniji algoritam je spor

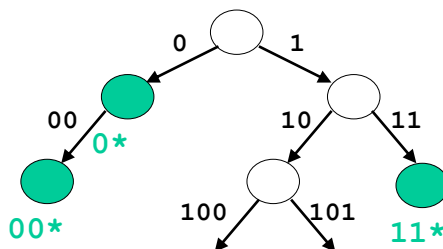
- ❑ Skenira pojedinačno zapis po zapis tabele prosleđivanja
  - Provjerava da li destinacija odgovara zapisu
  - Ako da, provjerava dužinu mrežnog prefiksa
  - Pamti zapis sa najdužim prefiskom
- ❑ Zaglavlje je malo u odnosu na tabelu prosleđivanja
  - Danas, to znači oko 300,000 zapisa!
  - Ruter ima samo nekoliko nanosekundi prije nego što stigne sledeći paket
- ❑ Mora biti sposoban da "prati" brzinu linkova
  - Bolji algoritmi
  - Implementacija u hardveru

Ruter 5-23

23

## Linijske kartice: Patricia Tree

- ❑ Čuvaju prefikse u obliku drveta
  - Po jedan bit za svaki nivo drveta
  - Neki nodovi korespondiraju validnim prefiksima koji imaju next-hop interfejsu u tabeli
- ❑ Kada paket stigne
  - Prolazi kroz drvo na bazi destinacione adrese
  - Zaustavlja se na mjestu koje odgovara najdužem prefiksu



Ruter 5-24

24

## Linijske kartice: Još brži lookup

- Patricia tree je brži od linearnog skeniranja
  - Proporcionalan broju bita u adresi
  - Patricia tree može biti brža
  - Može biti drvo sa k stanja
    - Drvo sa 4 stanja (00, 01, 10, i 11)
  - Brži lookup, zahtijeva više prostora
- Može koristiti poseban hardver
  - Content Addressable Memories (CAMs)
- Velike inovacije u drugoj polovini 1990-tih
  - Poslije uvođenja CIDR (1994)
  - ... i traženje najdužeg prefiksa je postalo glavno ograničenje

Ruter 5-25

25

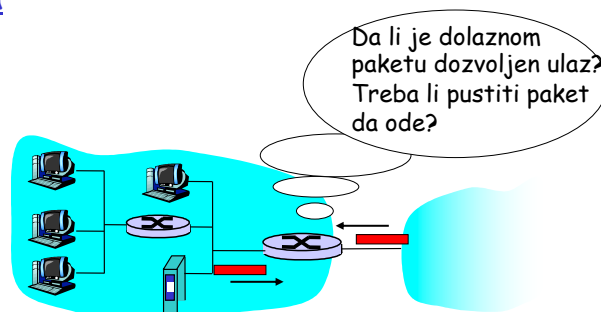
## Linijske kartice: Evolucija prosleđivanja paketa

- Software na ruterovom CPU
  - Centralni procesor donosi odluke o prosleđivanju
  - Nije skalabilna za veliki agregirani saobraćaj
- Route cache na linijskoj kartici
  - Nadzire mali FIB cache na svakoj linijskoj kartici
  - Čuva (destinacija, izlazni link) mapiranja
  - Ono što ne sadrži cache poslužuje ruterov CPU
- Kompletan FIB na svakoj linijskoj kartici
  - Čuva FIB na svakoj linijskoj kartici
  - Primjenjuje posebni hardver za traženje najdužeg prefiksa

Ruter 5-26

26

## Linijske kartice: Filtriranje paketa sa ACL-ovima



### □ “Petorka” za access control lists (ACLs)

- Izvorišna i odredišna IP adresa
- TCP/UDP izvorišni i odredišni portovi
- Protokol (UDP ili TCP)

Ruter 5-27

27

## Linijske kartice: Primjeri ACL-ova

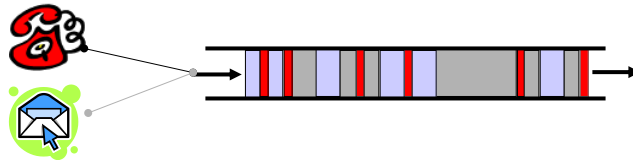
- Filtriranje paketa na bazi izvorišne adrese
  - Korisnikov pristupni link prema operatoru
  - Izvorišna adresa treba da bude u korisnikovom prefiksu
- Filtriranje paketa na bazi broja porta
  - Blokiranje saobraćaja neželjenih aplikacija
  - Poznati sigurnosni problemi, P2P
- Blokiranje komunikacije između parova hostova
  - Zaštita pristupa posebnim serverima
  - Blokiranje pristupa zaposlenih bazi ličnih primanja

Ruter 5-28

28

## Linijske kartice: FIFO scheduler

- First-in first-out scheduling
  - Najjednostavniji za implementaciju
  - Ograničen u pogledu predikcije performansi
- Primjer: dvije vrste saobraćaja
  - Audio konferencija zahtijeva nisko kašnjenje (100ms)
  - Prenos E-maila nije tako osjetljiv
- FIFO "miješa" različite saobraćaje
  - E-mail saobraćaj interferira audio konferencijskom saobraćaju

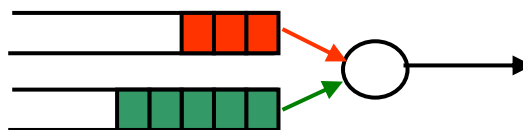


Ruter 5-29

29

## Linijske kartice: scheduleri striktnih prioriteta

- Striktni prioritet
  - Više nivoa prioriteta
  - Uvijek prenosi saobraćaj visokog prioriteta ako ga ima i prisiljava niskoprioritetni saobraćaj da čeka
- Izolacija visokoperformantnog saobraćaja
  - Skoro isto kao kod dodijeljenog linka
  - Unosi malo kašnjenje



Ruter 5-30

30

## Linijske kartice: težinski scheduleri

- Ograničenja striktnog prioriteta
  - Nisko prioritetni baferi mogu biti zapostavljeni tokom dugog vremena čak i u slučajevima kada visoko-prioritetni saobraćaj može da čeka
- Weighted fair scheduling
  - Dodjeljuje svakom baferu dio kapaciteta linka
  - Naizmenično bira redove čekanja u kratkim vremenskim intervalima
  - Šalje dodatni saobraćaj iz jednog bafera ako su ostali prazni



50% crveni, 25% plavi, 25% zeleni

Ruter 5-31

31

## Linijske kartice: kompromisi Scheduling-a

- FIFO je jednostavan
  - Jedan bafer, jednostavan scheduler
- Striktni prioriteta je složeniji
  - Jedan red čekanja po klasi saobraćaja, jedan scheduler
- Weighted fair scheduling
  - Jedan bafer po klasi i kompleksniji scheduler
- Koliko klasa?

Ruter 5-32

32



## Linijske kartice: Markiranje paketa

- ❑ Gdje klasifikovati pakete?
  - Na svakom hopu?
  - Na krajevima?
  
- ❑ Različita realizacija
  - Ivica mreže: klasifikacija i markiranje paketa
  - Jezgro mreže: raspoređivanje paketa prema markacijama
  
- ❑ Markiranje paketa
  - Type-of-service biti u zaglavlju IP paketa

Ruter 5-33

33

## Linijske kartice: Stvarne garancije?

- ❑ Zavisí...
  - Mora ograničiti obim saobraćaja jedne klase
  - Ili markirati saobraćaj najnižeg prioriteta
- ❑ QoS u sklopu menadžmenta mreže
  - Konfigurisanje klasifikatora paketa
  - Konfigurisanje policy maker-a
  - Konfigurisanje schedulera
- ❑ Umjesto dinamičkog uspostavljanja kola
  - Različit pristup nego u mrežama sa komutacijom virtuelnih kola

Ruter 5-34

34

## Linijske kartice: Mjerenje saobraćaja

- ❑ Mjerenja se koriste za mnoge namjene
  - Tarifiranje
  - Inženjering saobraćaja
  - Detekciju malicioznih ponašanja
  
- ❑ Prikupljanje podataka
  - Brojanje paketa i B na linku
  - Brojanje paketa i B po prefiksu
  - Uzorkovanje paketa
  - Statistike za svaki TCP ili UDP tok

Ruter 5-35

35

## Procesor ruta

- ❑ "Loopback" interfejs
  - IP adresa CPU rutera
- ❑ Softver kontrolne ravni
  - Implementacija protokola rutiranja
  - Kreiranje tabela prosleđivanja za linijske kartice
- ❑ Interfejs sa mrežnim administratorom
  - Komandna linija za konfiguraciju
  - Prenos statistika mjerenja
- ❑ Posluživanje specijalnih paketa
  - Paketi sa poljem Opcija u zaglavlju
  - Paketi čije je TTL polje jednako 0

Ruter 5-36

36

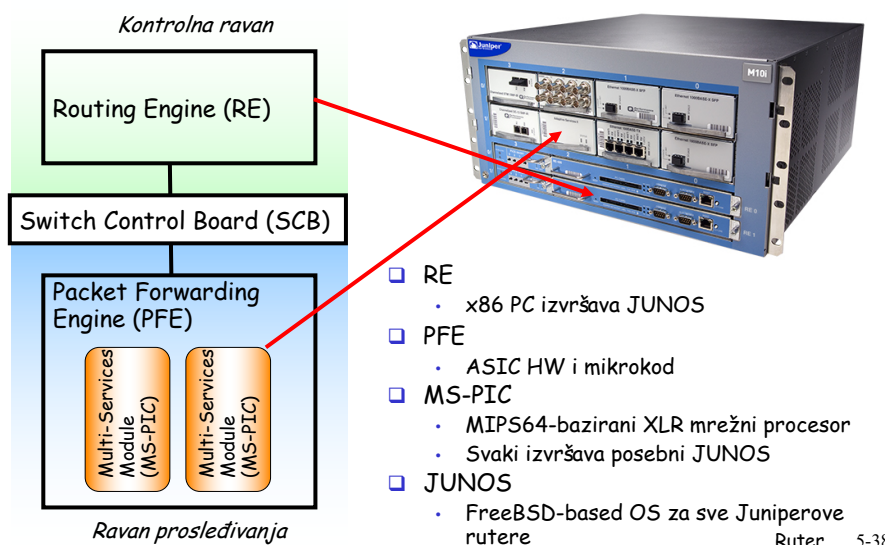
## Ravni podataka, kontrole i upravljanja

	Ravan podataka	Kontrolna ravan	Ravan upravljanja
Vrijeme	Paket (ns)	Događaj (10ms do 1s)	Čovjek (min do čas)
Zadaci	Prosleđivanje, baferovanje, filtriranje i scheduling	Rutiranje, signalizacija	Analiza, konfiguracija
Lokacija	Linijaska kartica, komutacioni uređaj	SW na procesoru ruta	Ljudi ili skripte

Ruter 5-37

37

## Komerčijalni HW ruter: Juniper



38

## Klasifikacija rutera

- ❑ Ruteri pristupne mreže
  - Podrška heterogenim brzim portovima i različitim protokolima
- ❑ Ruteri kompanijske mreže
  - Podrška velikom broju portova za nisku cijenu
  - QoS klase
  - Multicast i broadcast
  - Firewall, administracija i zaštita
- ❑ Ruteri okosnice
  - Podrška malom broju brzih linkova
  - Pouzdanost i velika brzina
  - Stabilnost protokola rutiranja

Ruter 5-39

39

## Cisco IOS

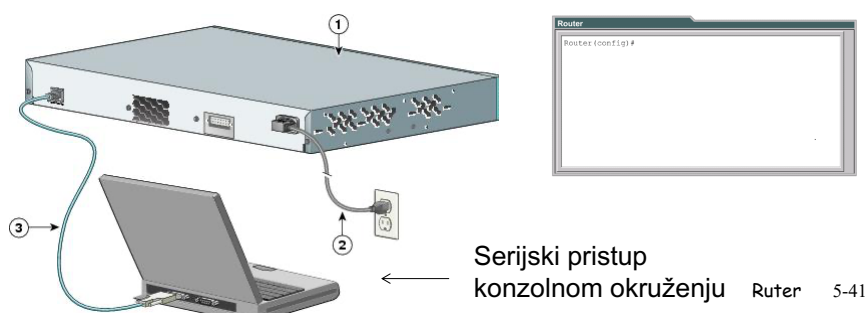
- ❑ Operativni Sistem Cisco uređaja je poznat pod nazivom Cisco **Internetwork Operating System** ili Cisco **IOS**.
- ❑ Implementiran je svim CISCO ruterima i Catalyst *switch*-evima.
- ❑ Cisco IOS pruža sledeće servise:
  - Osnovne funkcije rutiranja i komutacije
  - Pouzdan i siguran pristup mrežnim resursima
  - Definisane kontrolne politike

Ruter 5-40

40

## Korisnički interfejs Cisco rutera

- ❑ Cisco IOS softver koristi interfejs komandne linije kao standardno konzolno okruženje.
- ❑ Pristup konzoli moguće je ostvariti na više načina:
  - Direktni PC **serijski** pristup
    - Softveri za pristup: Putty, Minicom, Hyperterminal
  - **Dialup** konekcija posredstvom modema (Auxiliary port)
  - **Telnet/SSH** konekcija prema ruteru



41

## Konfiguracija rutera – Pristupni modovi

- ❑ **Korisnički EXEC mod** – osnovni pristup IOS-u sa ograničenim setom komandi za monitoring.
  - "view only" mod
- ❑ **Privilegovani EXEC mod** – detaljno ispitivanje rutera, testiranje, manipulacija fajlovima.
  - Prelazak iz korisničkog u privilegovani EXEC mod vrši se komandom **enable**
- ❑ **Globalni konfiguracioni mod** – dozvoljava promjenu konfiguracije uređaja
  - Za prelazak iz privilegonog EXEC moda u globalni konfiguracioni mod koristimo komandu **configure terminal**
  - Konfiguracija interfejsa i protokola
- ❑ **Specifični konfiguracioni modovi** – konfiguracija na nivou pojedinačnih interfejsa, protokola, VLAN-ova i sl.  
**U svakom modu listu dostupnih komandi moguće je dobiti unosom '?'**

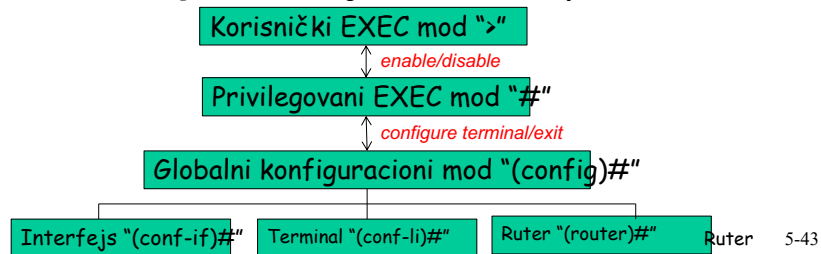
Ruter 5-42

42

## Konfiguracioni modovi IOS-a

□ Na osnovu izgleda komandne linije moguće je zaključiti koji konfiguracioni mod je trenutno aktivan:

- **Router>** – Korisnički EXEC mod
- **Router#** – Privilegovani EXEC mod
- **Router (config) #** – Globalni konfiguracioni mod
- **Router (config-if) #** – Konfiguracioni mod interfejsa



43

## Sadržaj konfiguracionog fajla

- Konfiguracija rutera definiše:
  - IP adrese interfejsa i mrežne maske
  - Informacije o rutiranju (statičke, dinamičke i default)
  - Boot i startup podešavanja
  - Bezbednost (lozinke i metodi autentifikacije)
- Uvid u konfiguraciju rutera
  - **Router#show running-config**
- Pregled konfiguracije interfejsa
  - **Router#show interface**
  - **Router#show ip interface brief**

```
Dynamips(0): R1, Console port
R1#show ip interface brief
Interface          IP-Address      OK? Method Status  Protocol
FastEthernet0/0    192.168.1.150   YES NVRAM  up      up
FastEthernet0/1    unassigned      YES NVRAM  administratively down down
Serial1/0          unassigned      YES NVRAM  administratively down down
Serial1/1          unassigned      YES NVRAM  administratively down down
Serial1/2          unassigned      YES NVRAM  administratively down down
Serial1/3          unassigned      YES NVRAM  administratively down down
FastEthernet3/0    unassigned      YES NVRAM  administratively down down
FastEthernet3/1    unassigned      YES NVRAM  administratively down down
SSLVPN-VIFO       unassigned      NO  unset  up      up
R1#
```

44

## Proces konfiguracije

### ❑ Učitavanje konfiguracionih parametara u RAM

- Router#configure terminal

### ❑ Personalizacija identifikacije rutera

- Router#(config)hostname RuterA

### ❑ Dodjeljivanje pristupnog password-a

- RuterA#(config)line console 0
- RuterA#(config-line)password cisco
- RuterA#(config-line)login

Ruter 5-45

45

## Proces konfiguracije rutera

### ❑ Konfigurisanje interfejsa

- RuterA#(config)interface ethernet 0/0
- RuterA#(config-if)ip address n.n.n.n m.m.m.m
- RuterA#(config-if)no shutdown

### ❑ Konfigurisanje ruta i protokola rutiranja

### ❑ Čuvanje konfiguracionih parametara u NVRAM memoriju

- RuterA#copy running-config startup-config

Ruter 5-46

46