

5. Ruter

Ruter 5-1

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

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

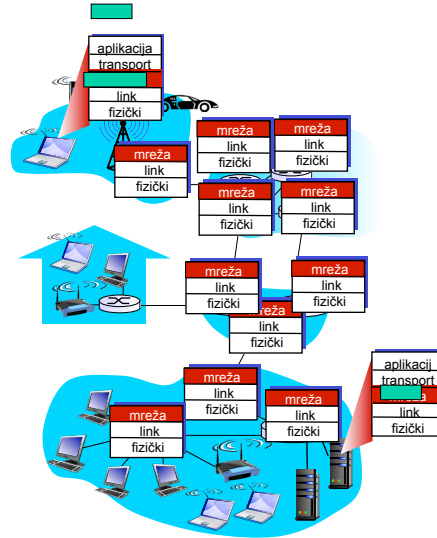
Komercijalni ruteri

- Ruteri se prodaju kao "crne kutije"
 - Cisco, Juniper, Redback, Avici, ...
 - Nema standardnih interfejsa između komponenata
 - 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

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

Ključne funkcije mrežnog nivoa

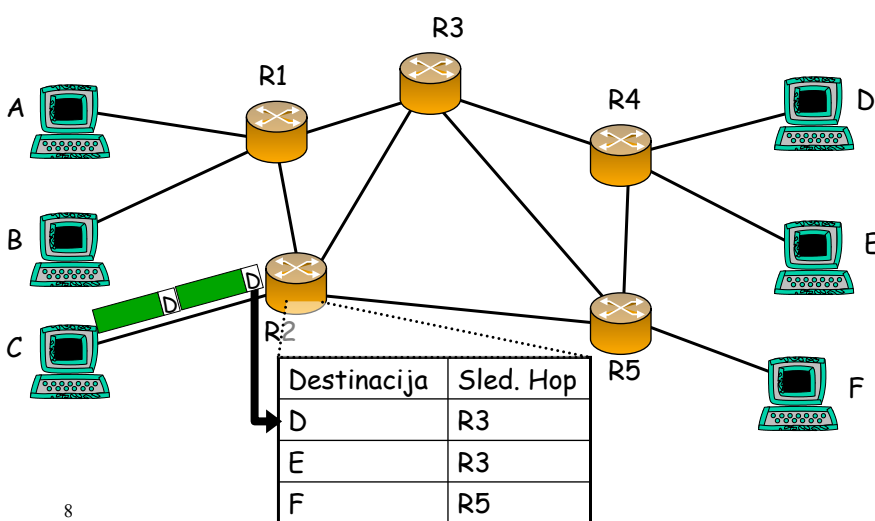
- ❑ **prosleđivanje:** pomjeranje paketa sa ulaza rutera na odgovarajući izlaz
- ❑ **rutiranje:** izbor rute kojom se paketi prenose od izvora do destinacije.
 - Algoritmi rutiranja
- analogija:**
- ❑ **rutiranje:** proces planiranja putovanja
- ❑ **prosleđivanje:** proces prolaska kroz jednu raskrnicu

Ruter 5-6

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 nepouzdatih puteva

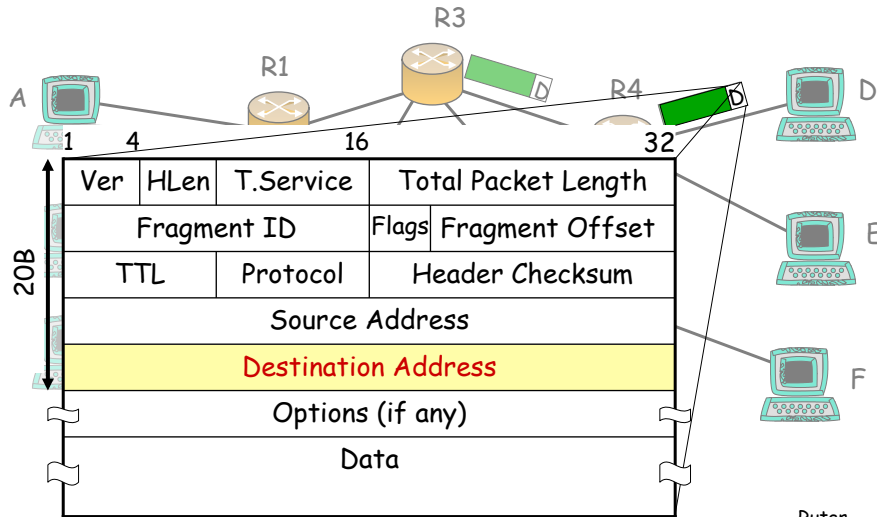
Prosleđivanje



8

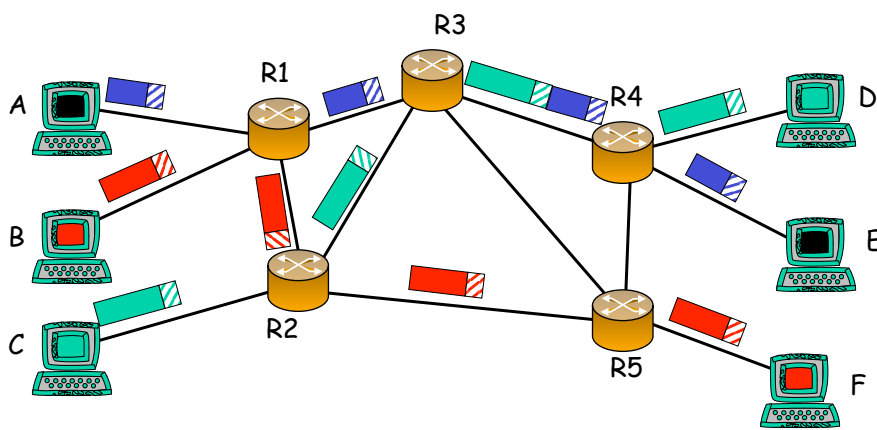
Ruter 5-8

Rutiranje



Ruter 5-9

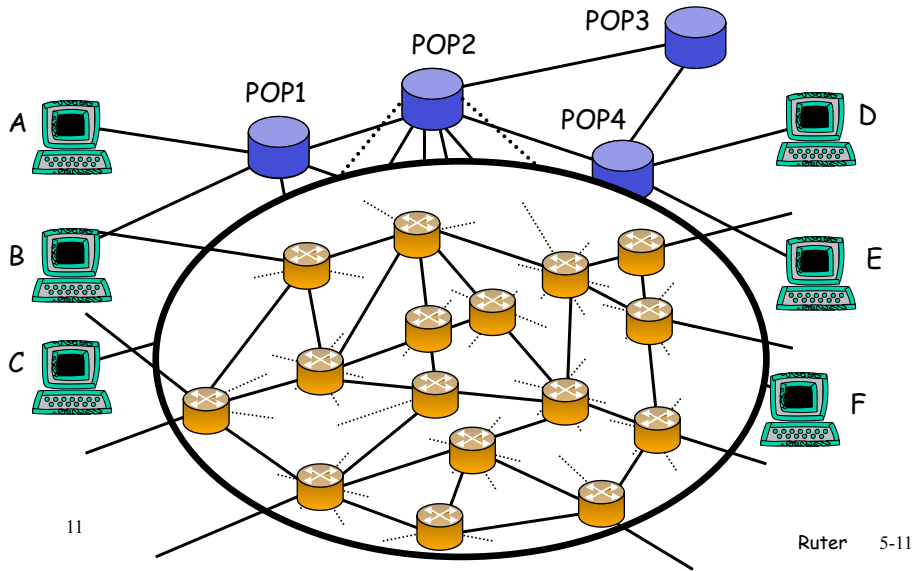
Rutiranje



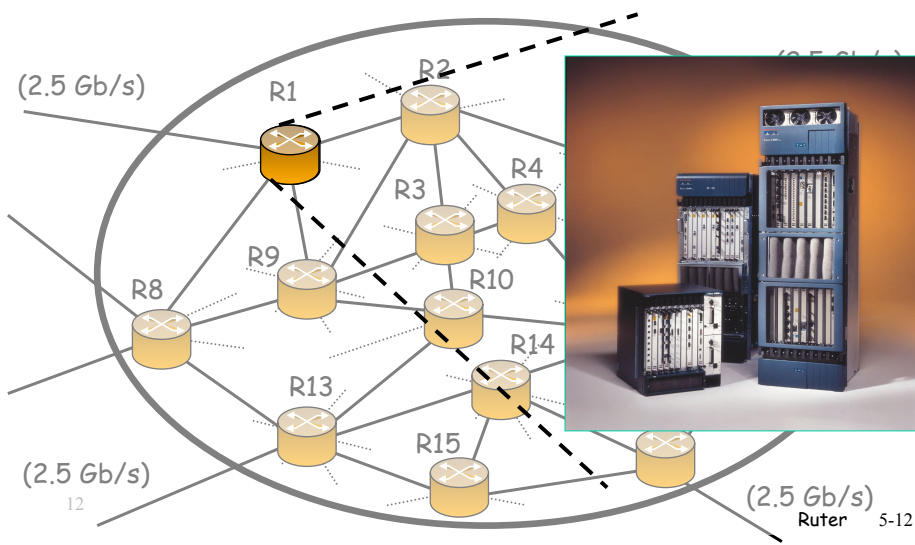
10

Ruter 5-10

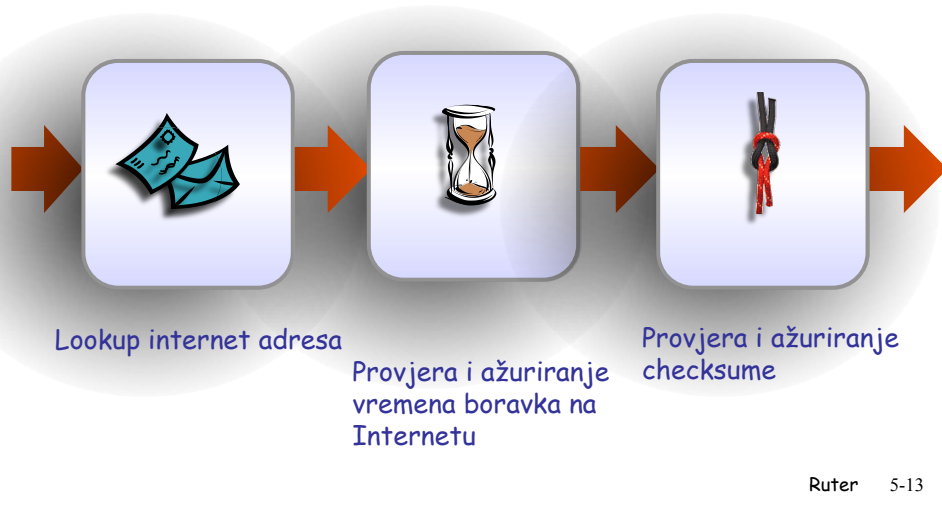
Points of Presence (POPs)



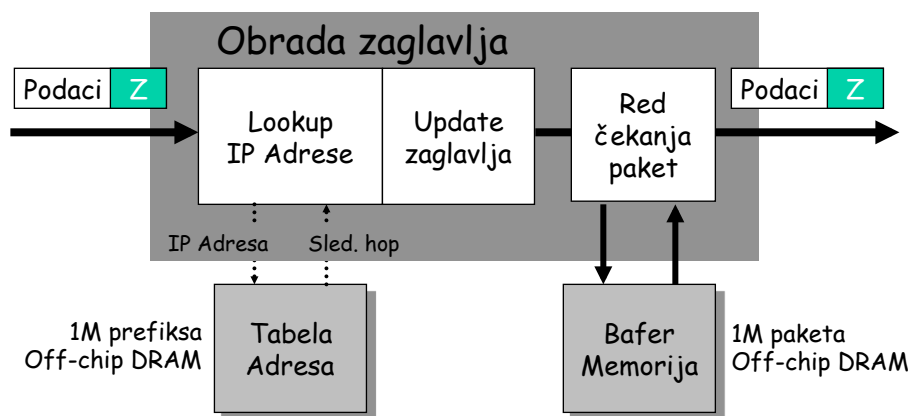
Gdje se koriste visoko-performantni ruteri?



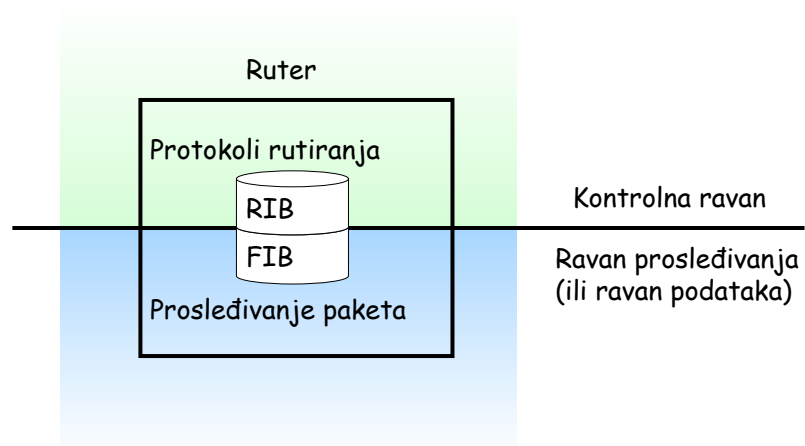
Funkcije rutera



Generička arhitektura rutera

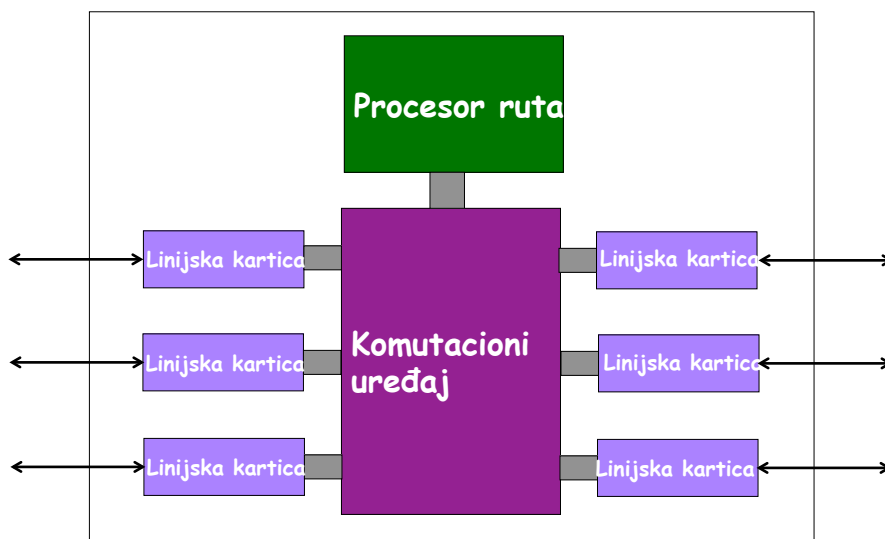


Fundamentalni dizajn rutera



Ruter 5-15

Struktura



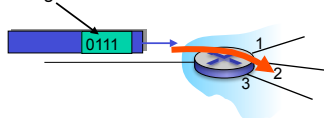
Ruter 5-16

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 zaglavlju datagrama



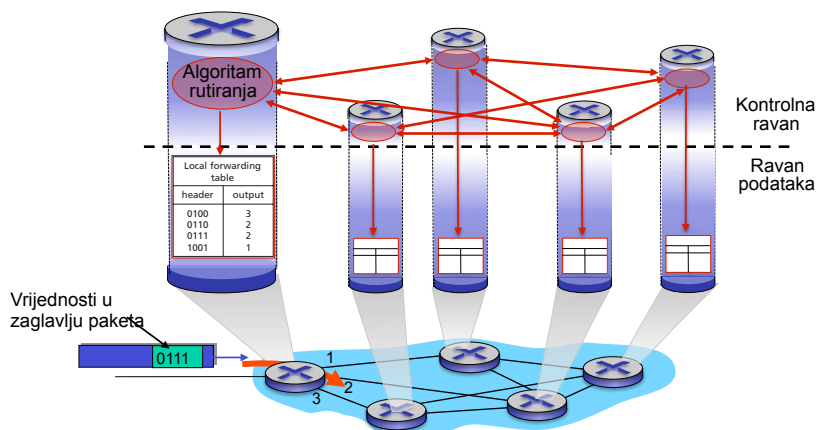
Kontrolna ravan

- 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

Distribuirana kontrolna ravan

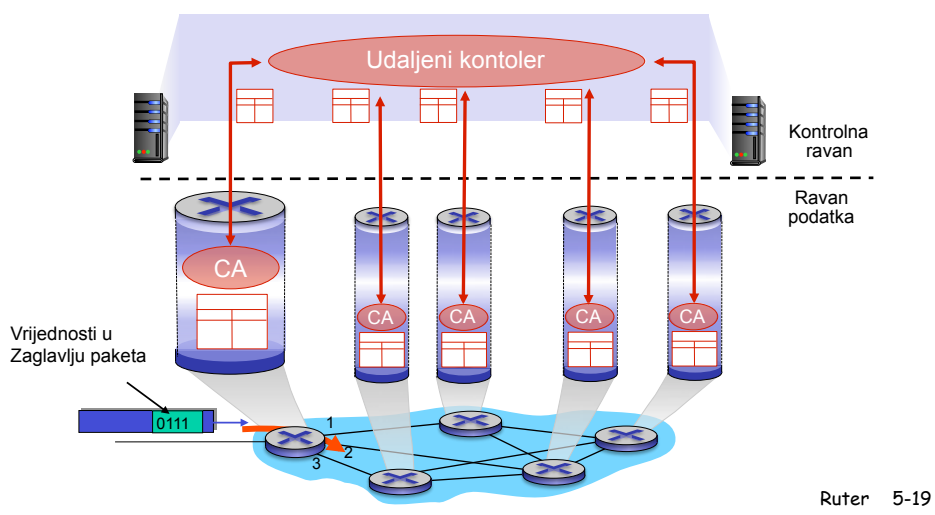
Individualni algoritmi rutiranja se izvršavaju samostalno u *svakom ruteru* i interaguju u kontrolnoj ravni



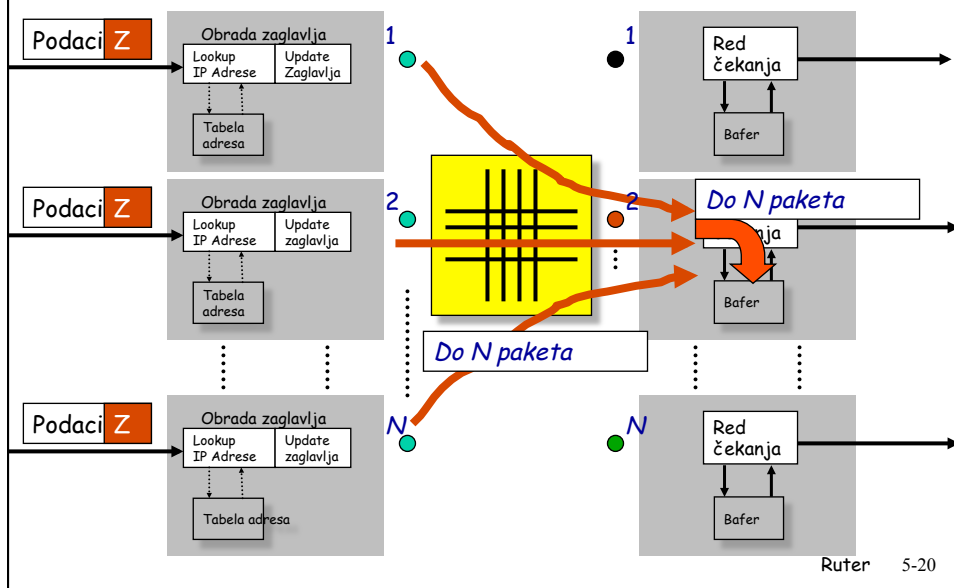
Ruter 5-18

Centralizovana kontrolna ravan

Udaljeni kontroler interaguje sa lokalnim kontrolnim agentima (CAs)

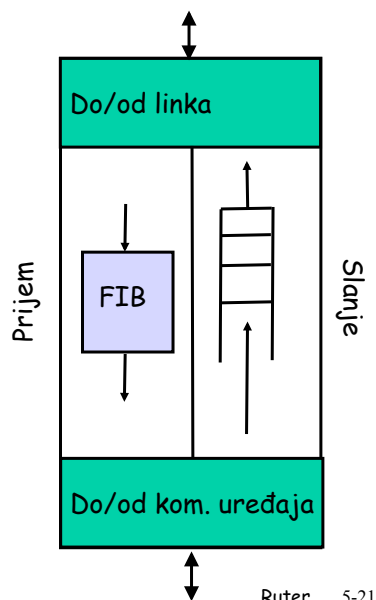


Komutacioni uređaj



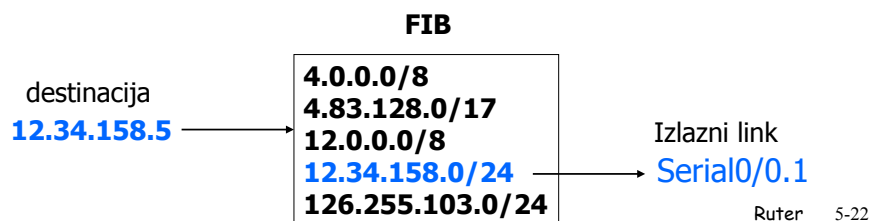
Linijske kartice

- 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



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



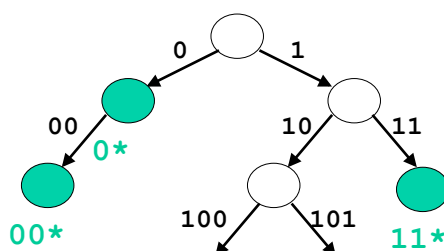
Linijske kartice: Najjednostavniji algoritam je spor

- ❑ Skenira pojedinačno zapis po zapisu 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

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

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

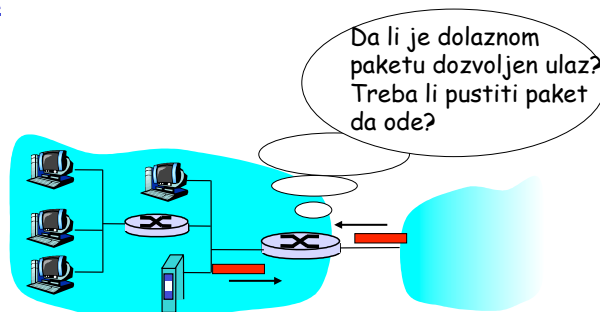
Ruter 5-25

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

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

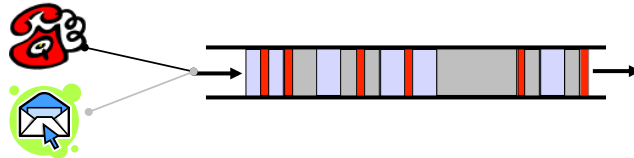
Linijske kartice: Primjeri ACL-ova

- 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

Linijske kartice: FIFO scheduler

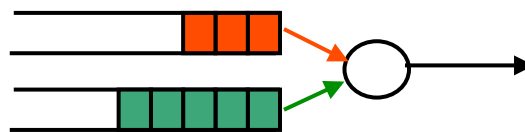
- ❑ First-in first-out scheduling
 - Najjednostavniji za implementaciju
 - Ograničen u pogledu predikcije performansi
- ❑ Primjer: dvije vrste saobraćaja
 - Audio konferencija zahtijeva nisko kašnjenje (100ms)
 - Prenos E-maila nije tako osjetljiv
- ❑ FIFO "miješa" različite saobraćaje
 - E-mail saobraćaj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



Ruter 5-29

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

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

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

Linijske kartice: Markiranje paketa

- ❑ Gdje klasifikovati pakete?
 - Na svakom hopu?
 - Na krajevima?

- ❑ Različita realizacija
 - Ivice mreže: klasifikacija i markiranje paketa
 - Jezgro mreže: raspoređivanje paketa prema markacijama

- ❑ Markiranje paketa
 - Type-of-service biti u zaglavlju IP paketa

Ruter 5-33

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

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

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

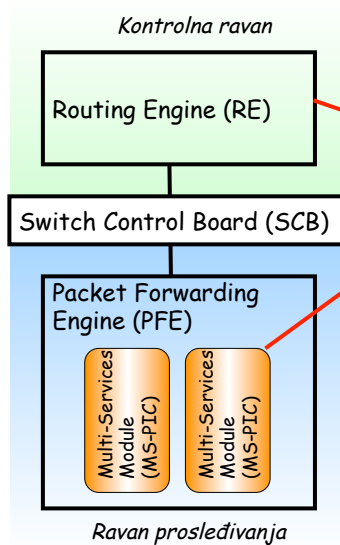
Ruter 5-36

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

Komercijalni HW ruter: Juniper



- RE
 - x86 PC izvršava JUNOS
 - PFE
 - ASIC HW i mikrokod
 - MS-PIC
 - MIPS64-bazirani XLR mrežni procesor
 - Svaki izvršava posebni JUNOS
 - JUNOS
 - FreeBSD-based OS za sve Juniperove rutere
- Ruter 5-38

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

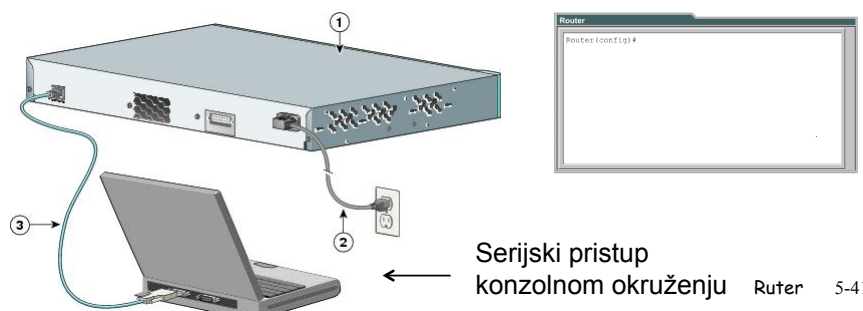
Cisco IOS

- ❑ 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

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



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.

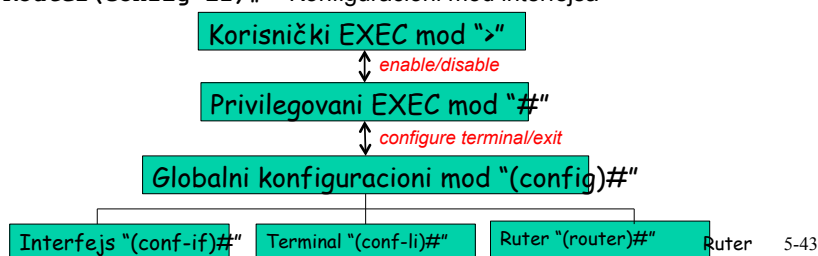
U svakom modu listu dostupnih komandi moguće je dobiti unosom '?'

Ruter 5-42

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



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
SS1VPN-VIF0    unassigned      NO  unset   up        up
R1#
```

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

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