

5. Ruter

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

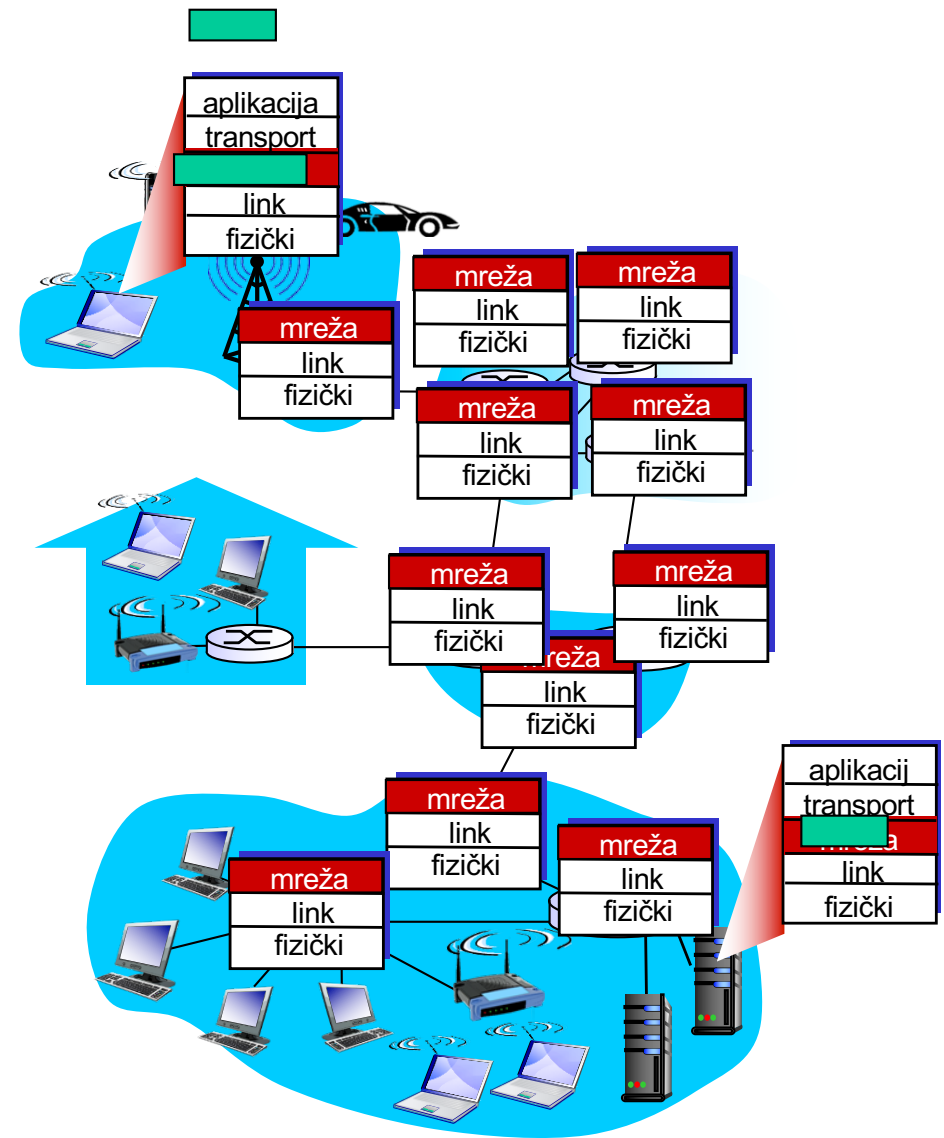
- Serijski portovi, Ethernet, WiFi, SDH, ...

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 konfigurišu 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

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



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*

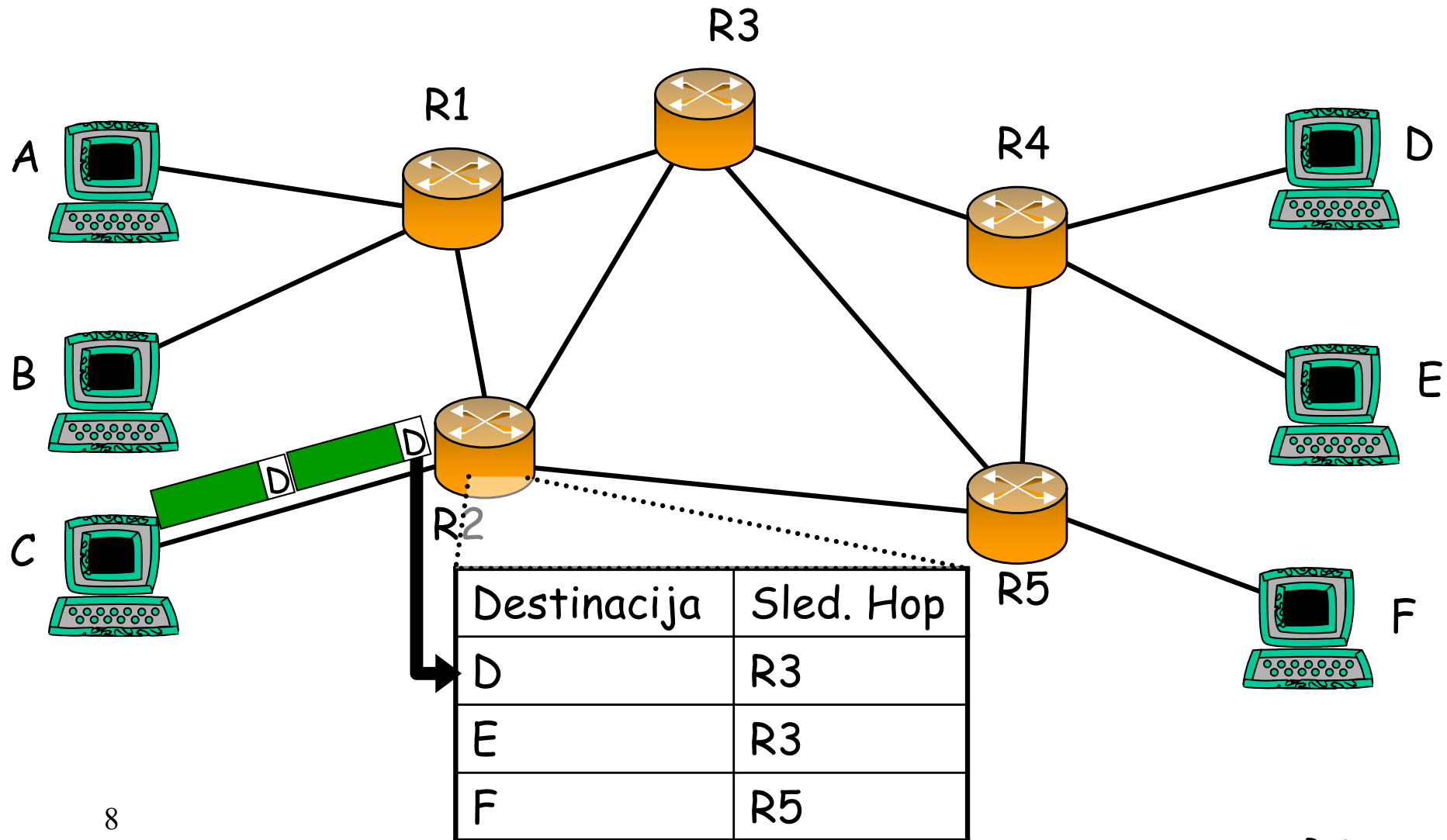
analogija:

- *rutiranje*: proces planiranja putovanja
- *prosleđivanje*: proces prolaska kroz jednu raskrnicu

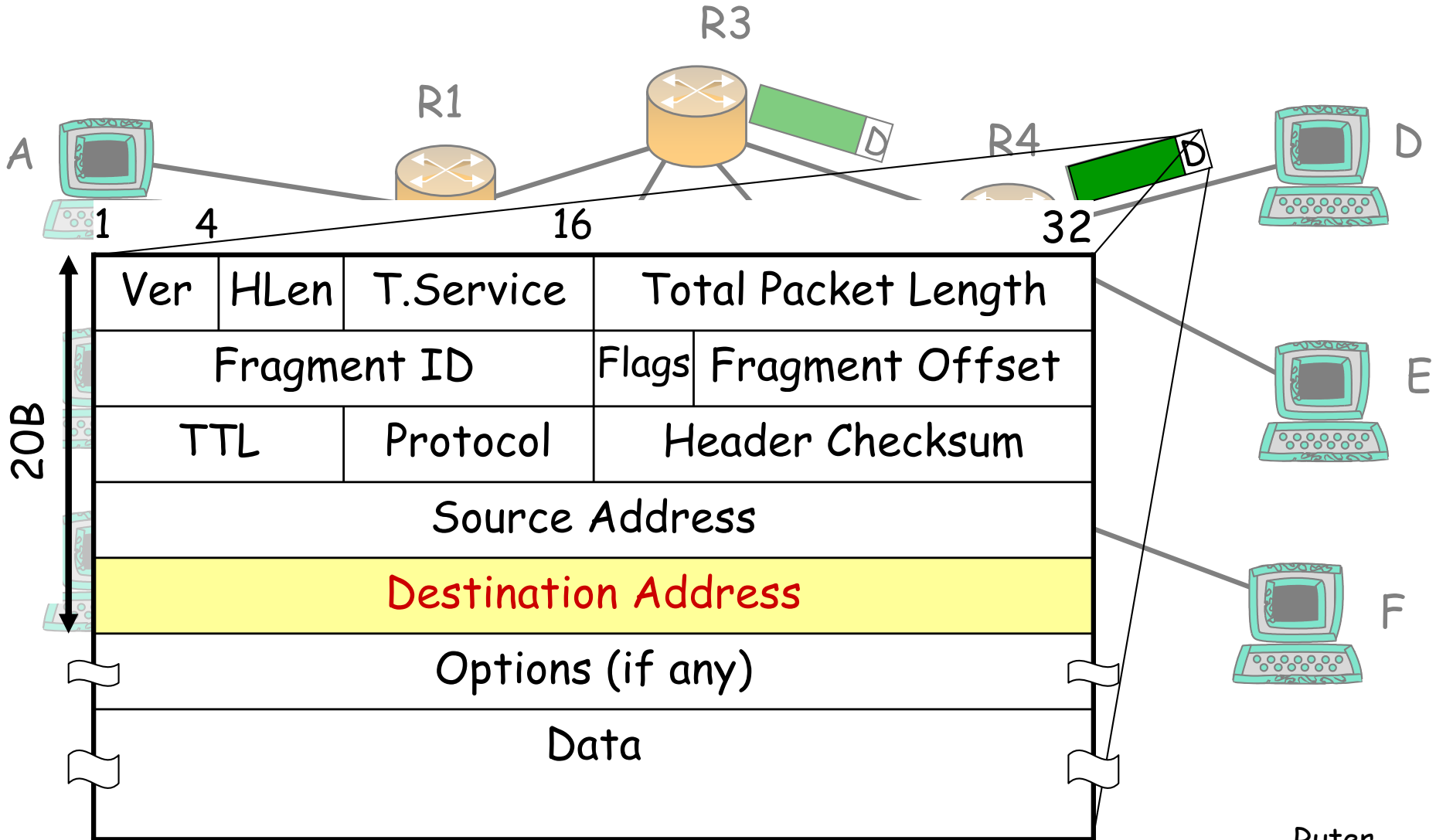
Šta je važno prilikom pronalaženja rute?

- ❑ 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

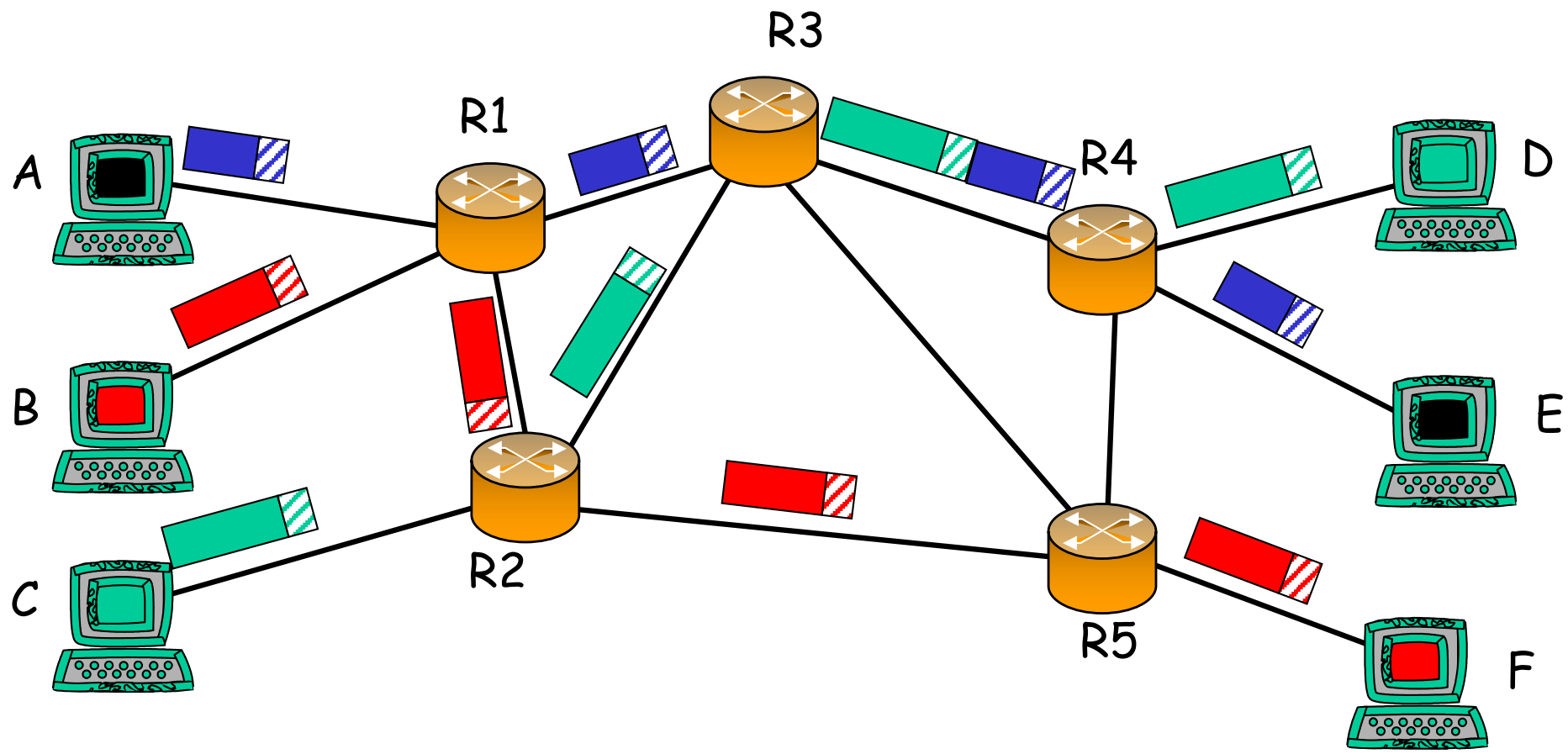
Prosleđivanje



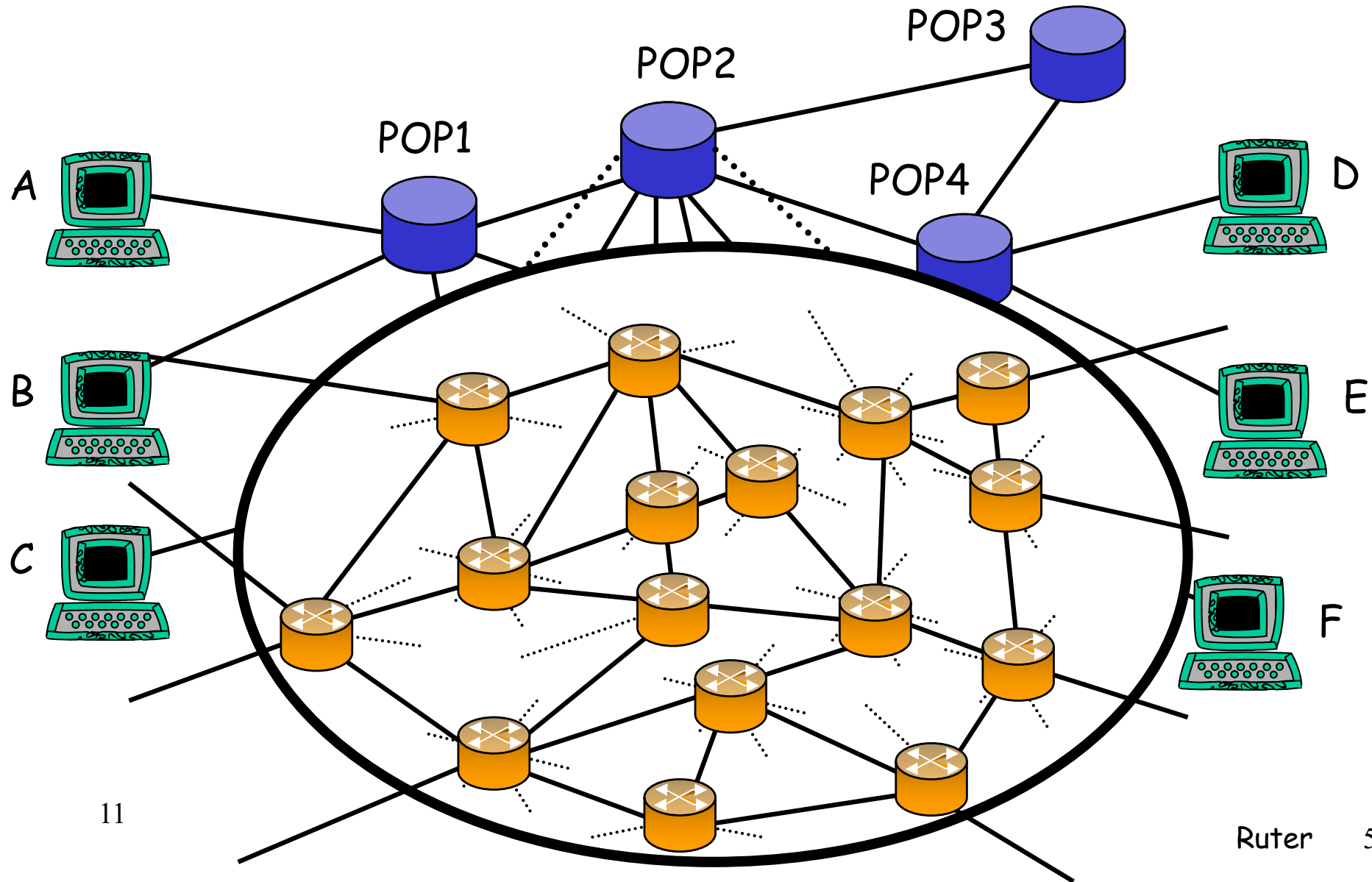
Rutiranje



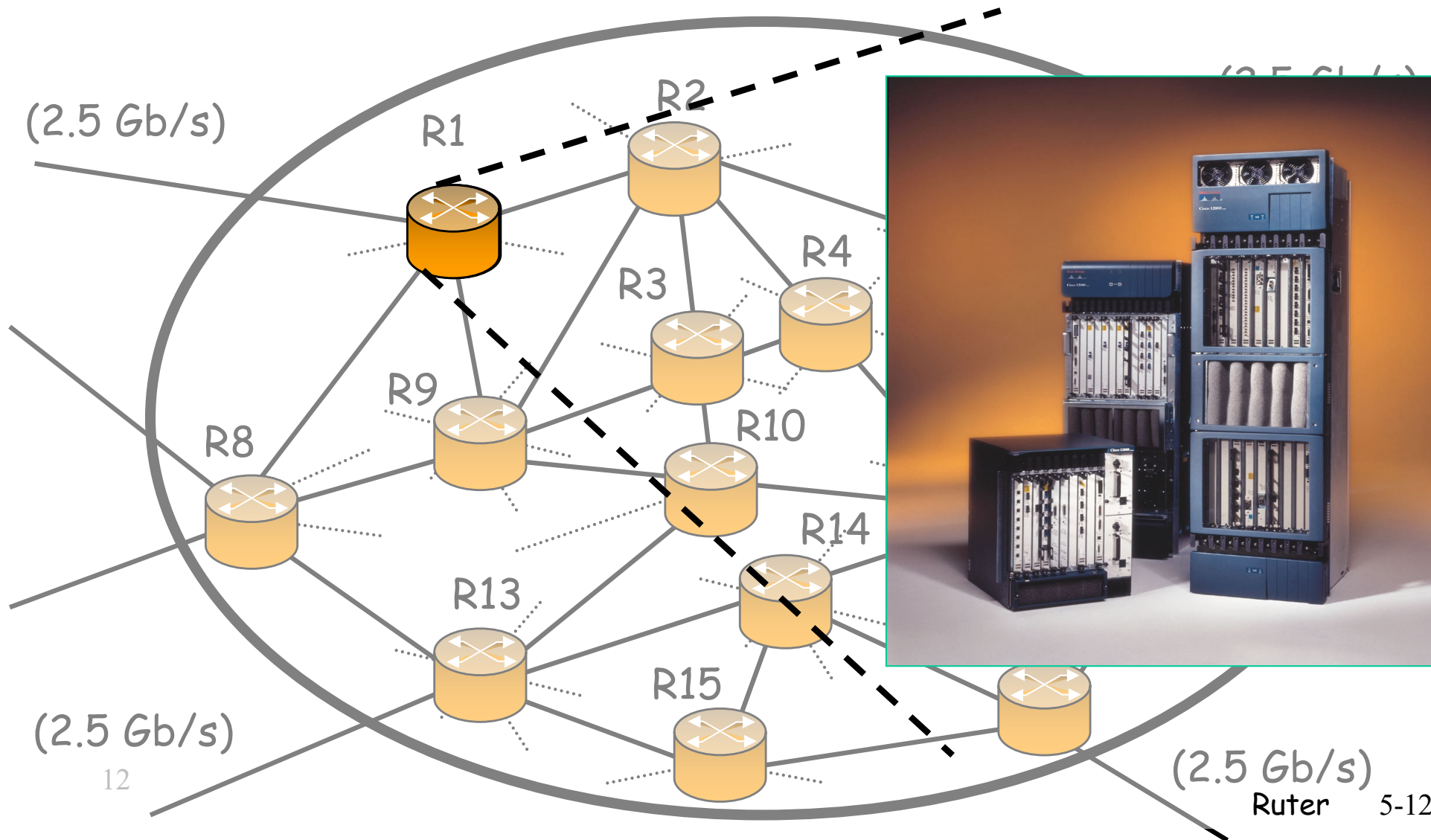
Rutiranje



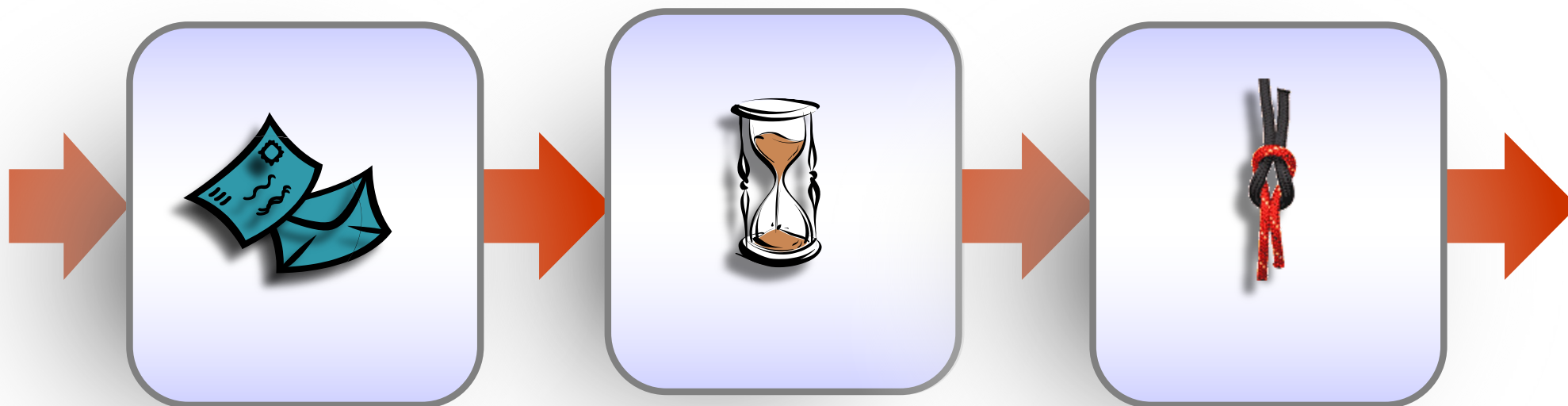
Points of Presence (POPs)



Gdje se koriste visoko-performantni ruteri?



Funkcije rutera

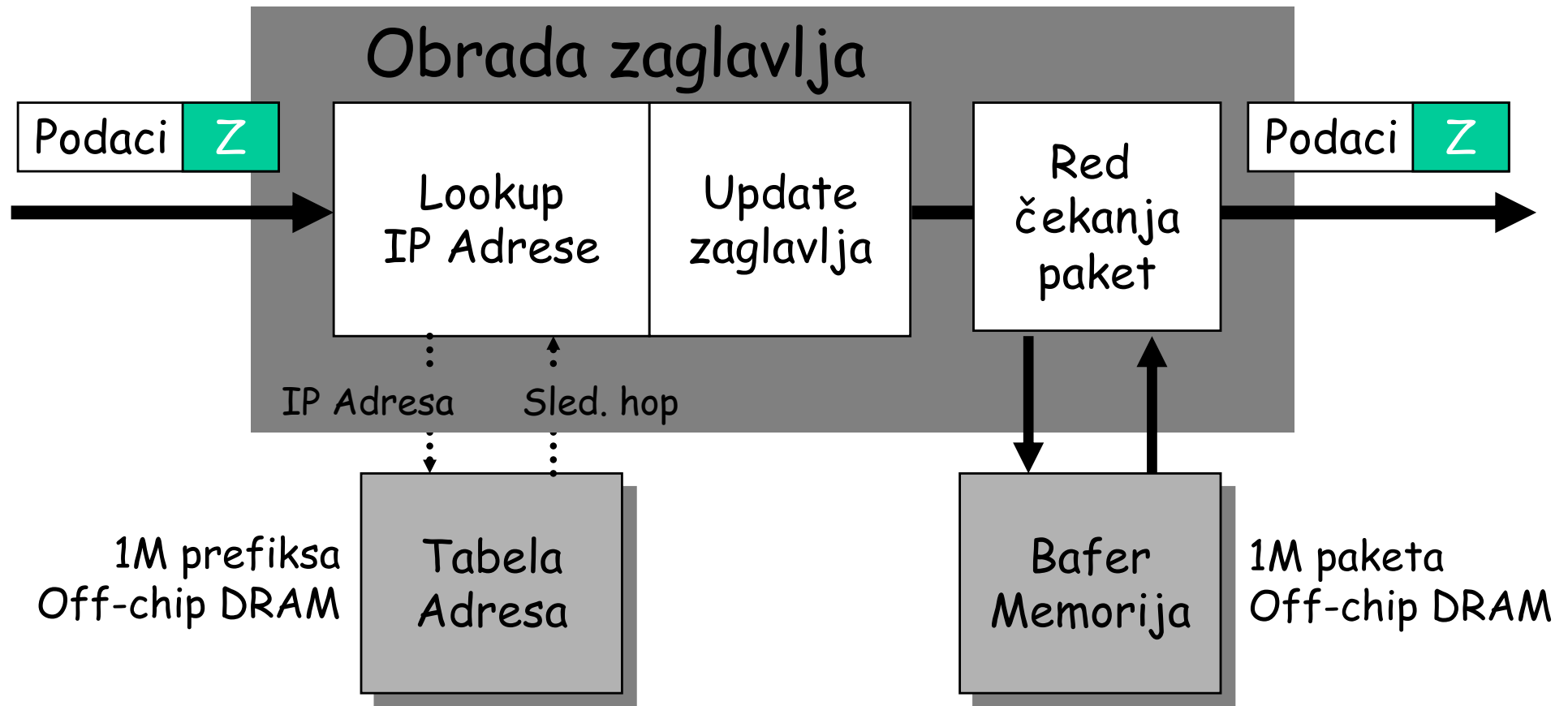


Lookup internet adresa

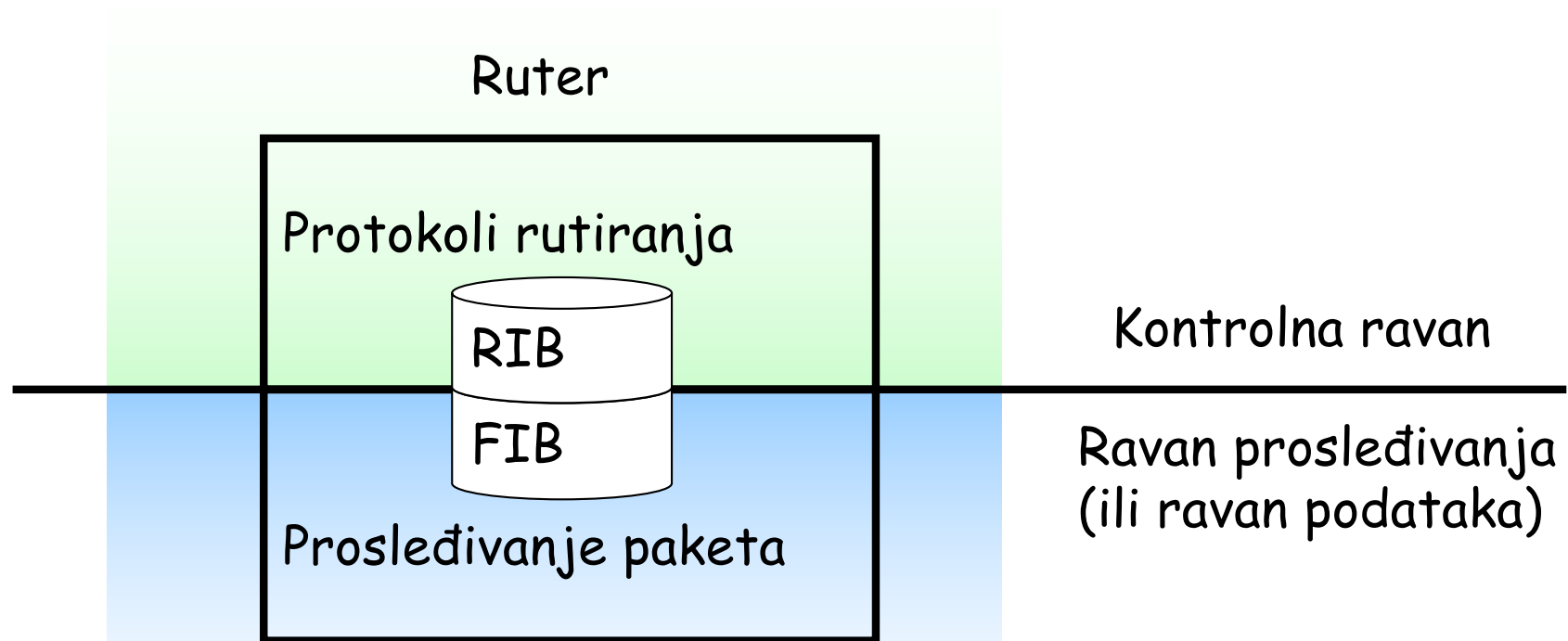
Provjera i ažuriranje
vremena boravka na
Internetu

Provjera i ažuriranje
checksume

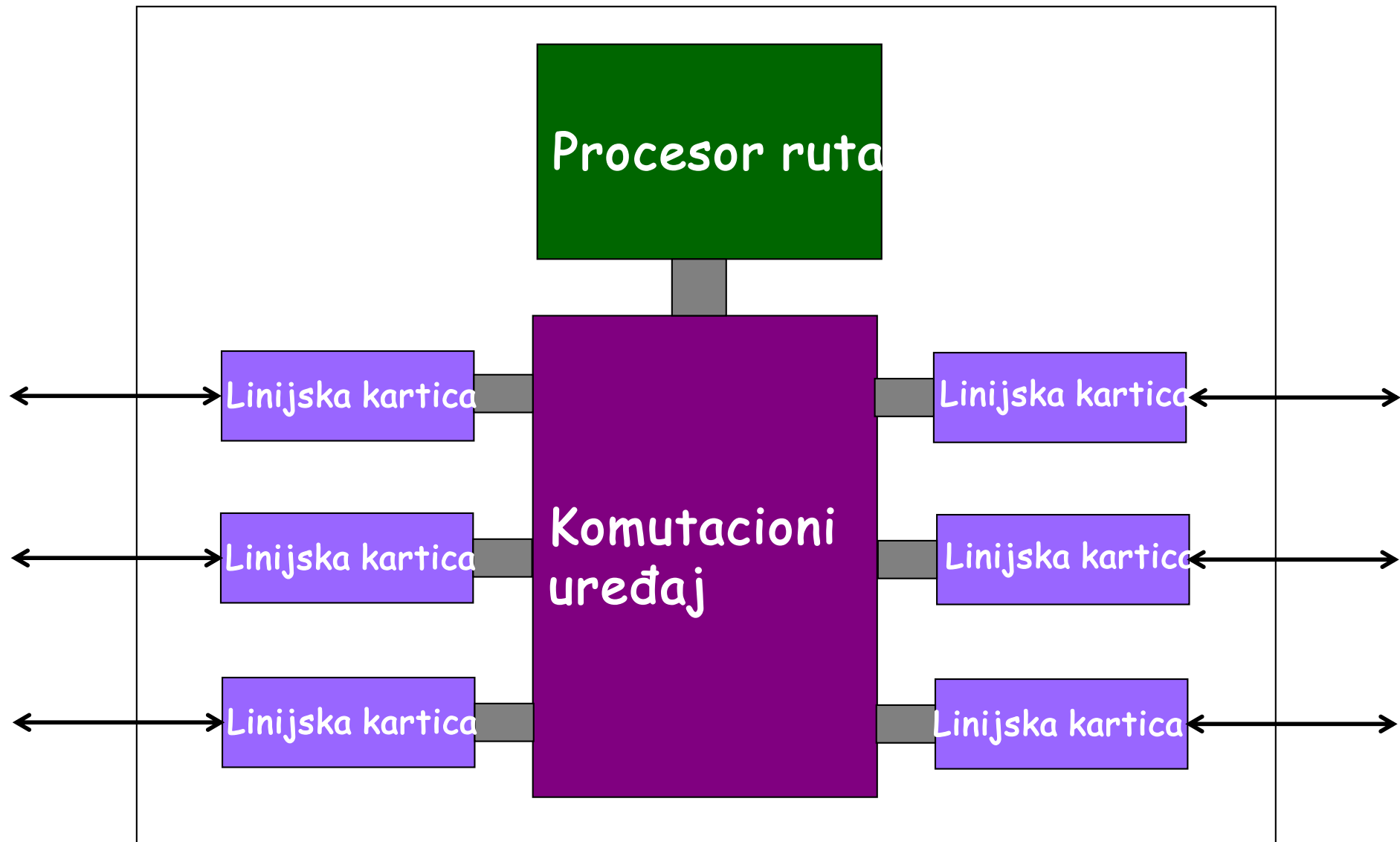
Generička arhitektura rutera



Fundamentalni dizajn rutera



Struktura

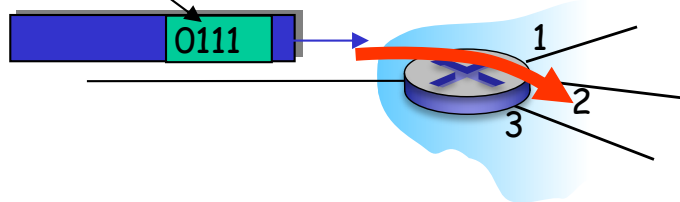


Mrežni nivo: ravan podataka, ravan kontrole

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

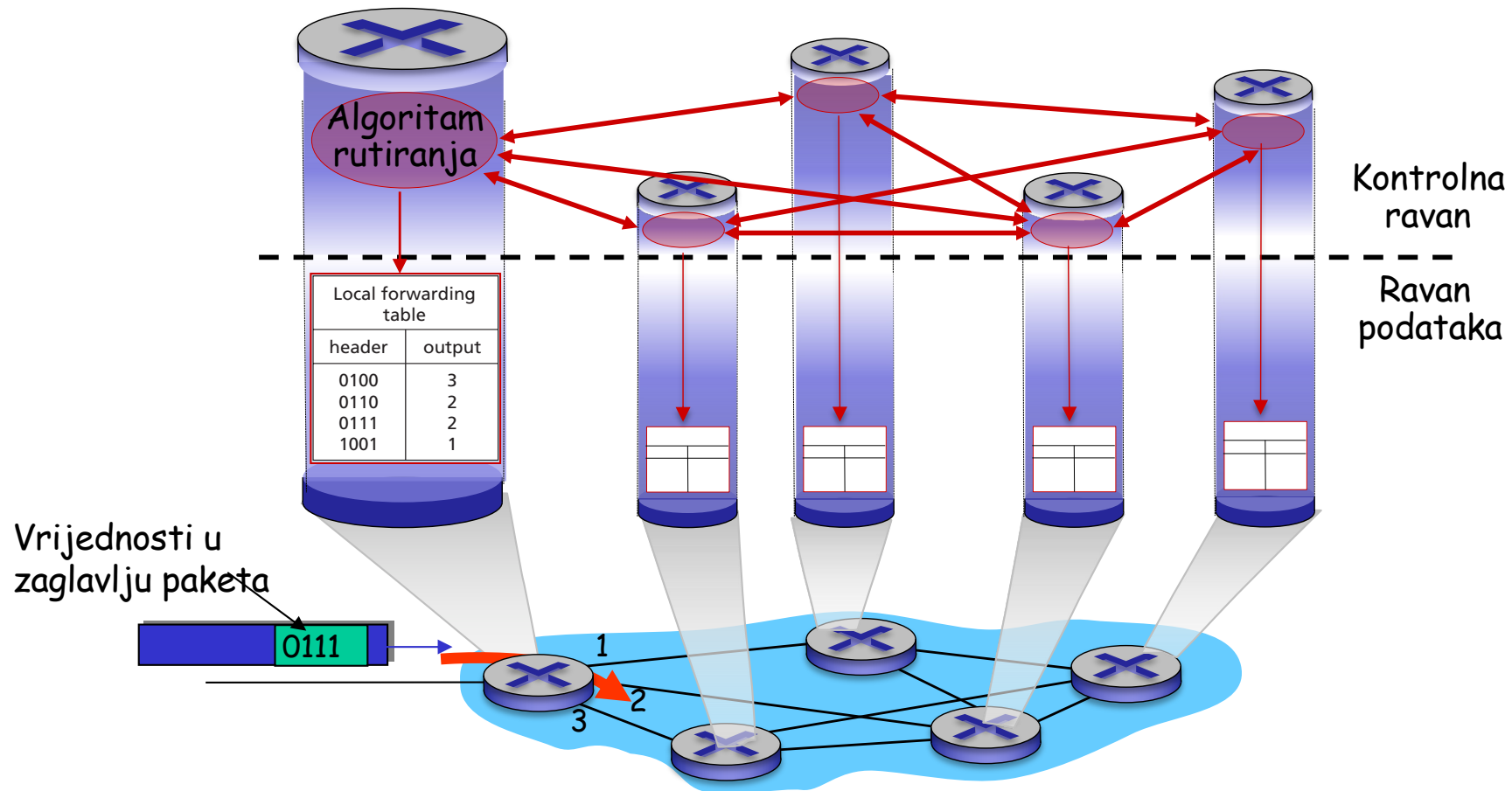


Kontrolna ravan

- 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

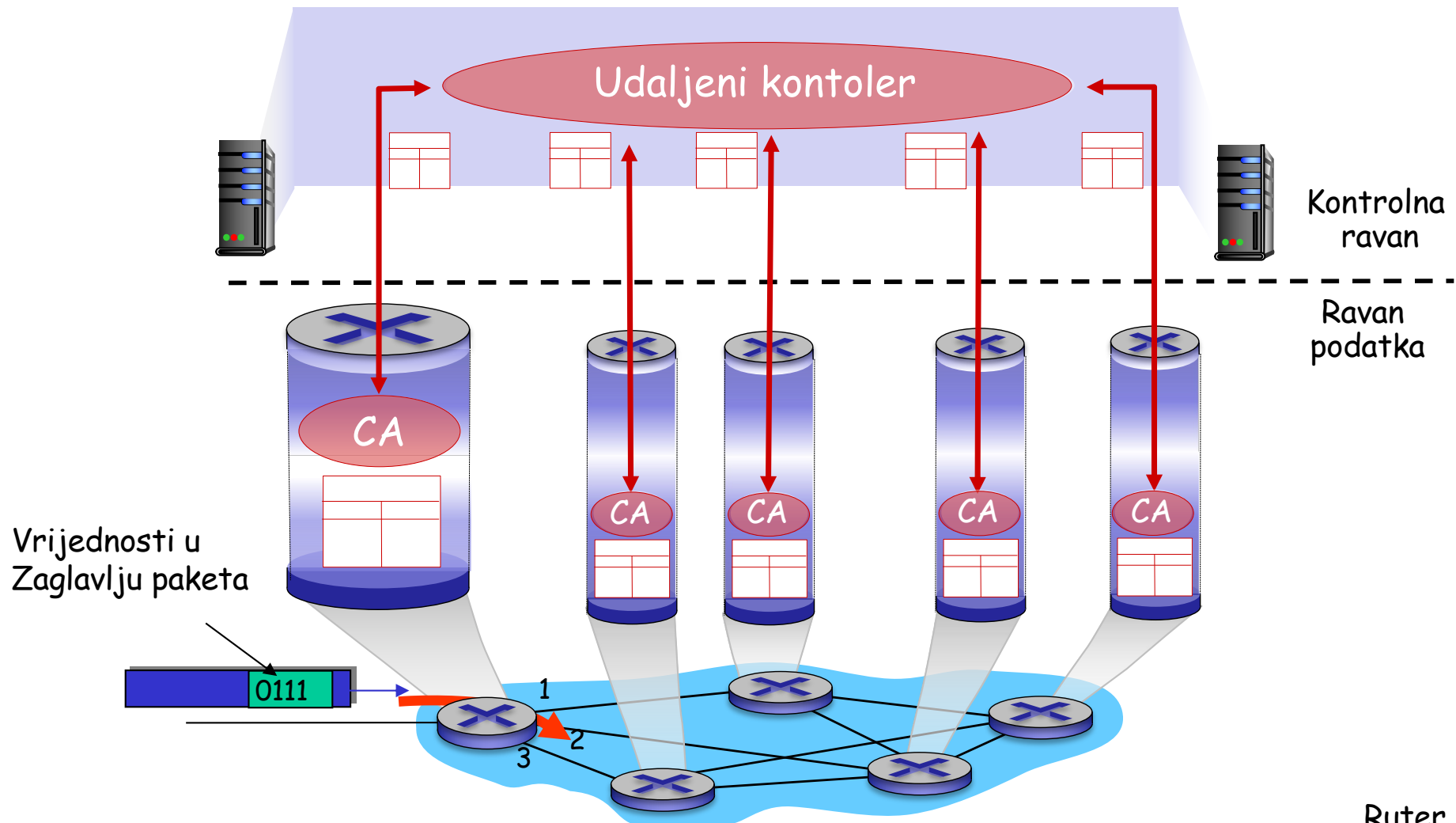
Distribuirana kontrolna ravan

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

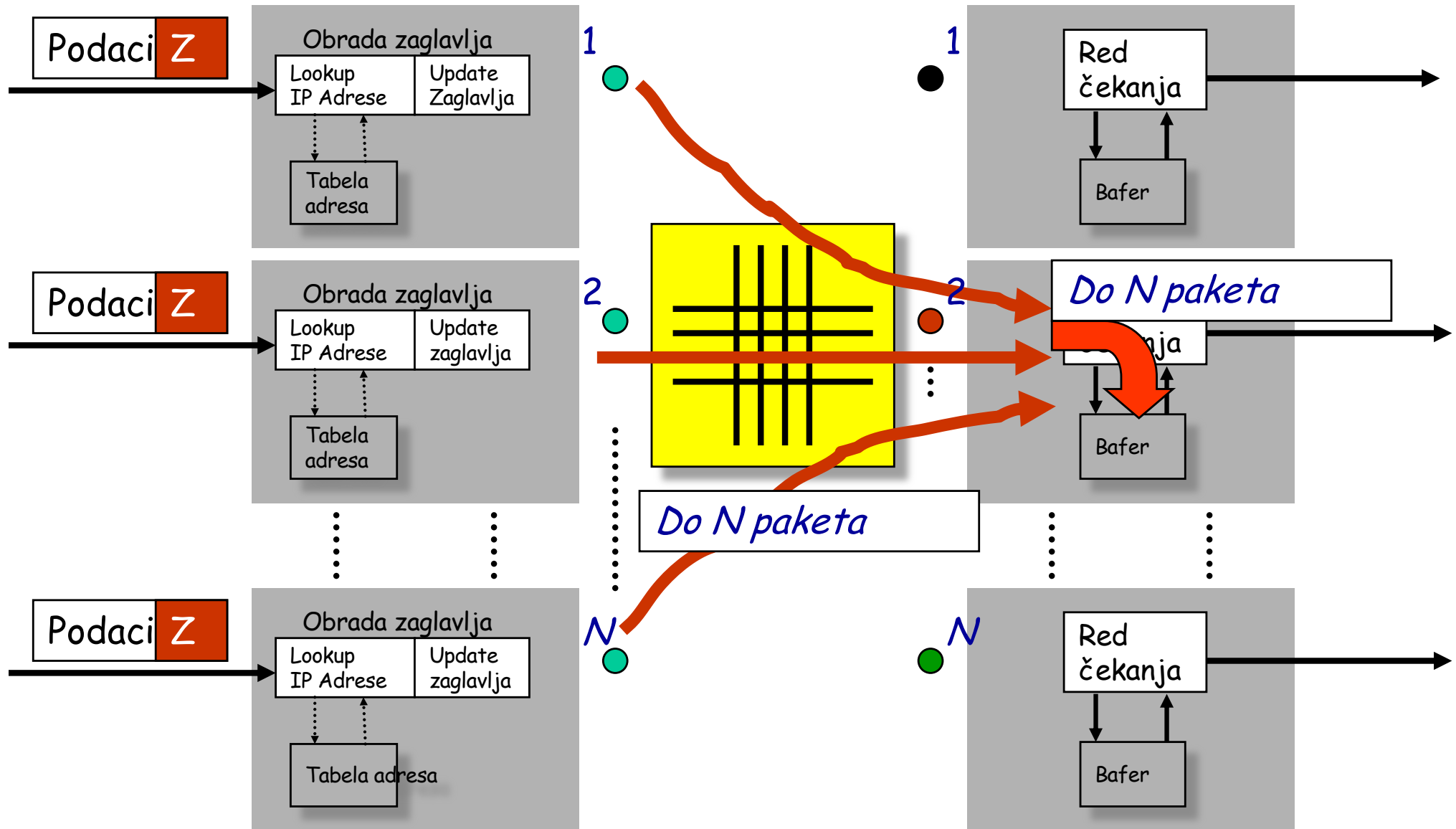


Centralizovana kontrolna ravan

Udaljeni kontroler interaguje sa lokalnim kontrolnim agentima (CAs)

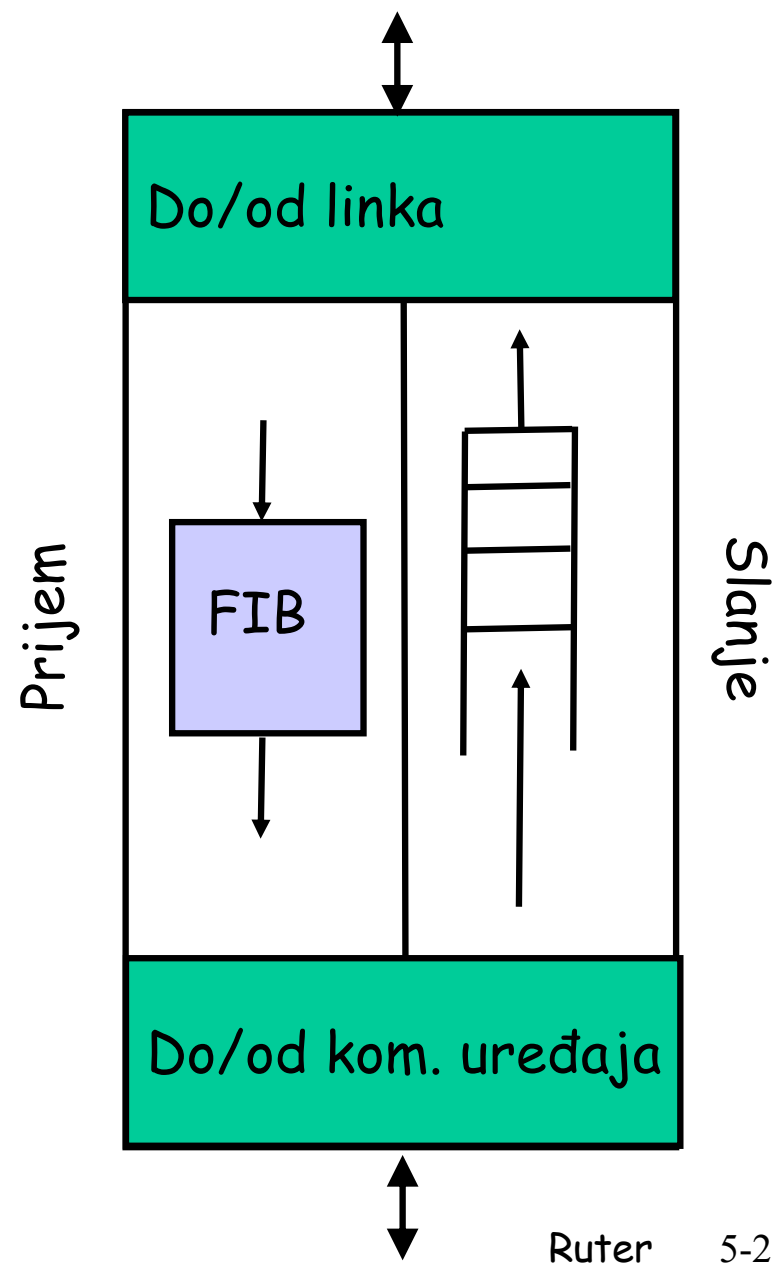


Komutacioni uređaj



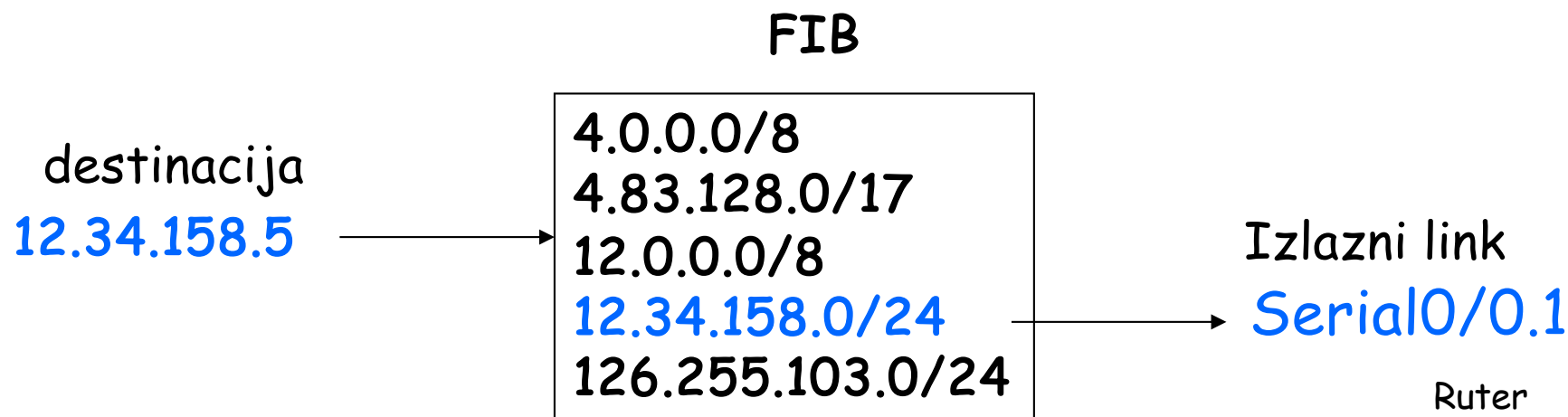
Linijske kartice

- 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

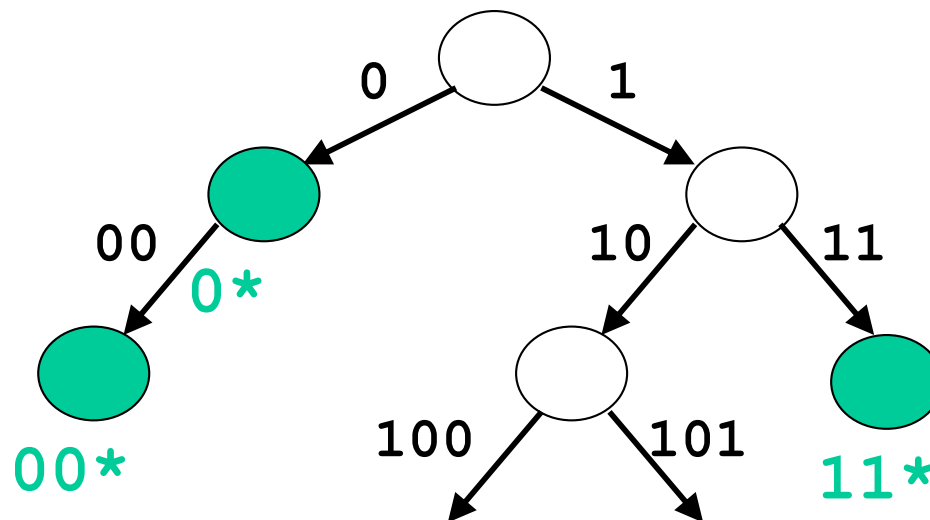


Linijske kartice: Najjednostavniji algoritam je spor

- ❑ Skenira pojedinačno zapis po 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

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



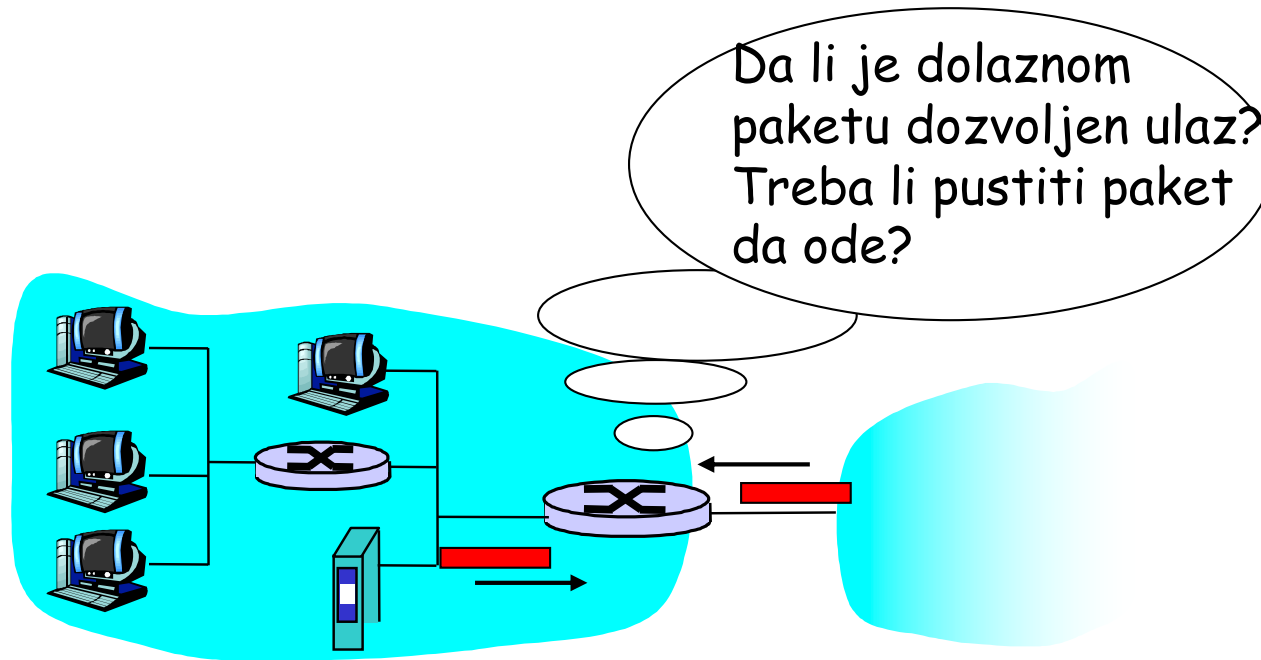
Linijske kartice: Još brži lookup

- 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

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

Linijske kartice: Filtriranje paketa sa ACL-ovima



□ “Petorka” za *Access Control Lists* (ACLs)

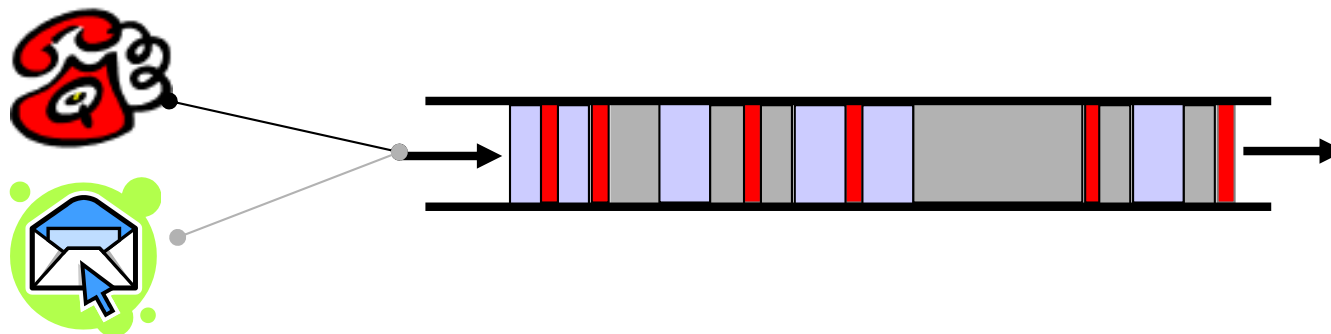
- Izvorišna i odredišna IP adresa
- TCP/UDP izvorišni i odredišni portovi
- Protokol (UDP ili TCP)

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

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



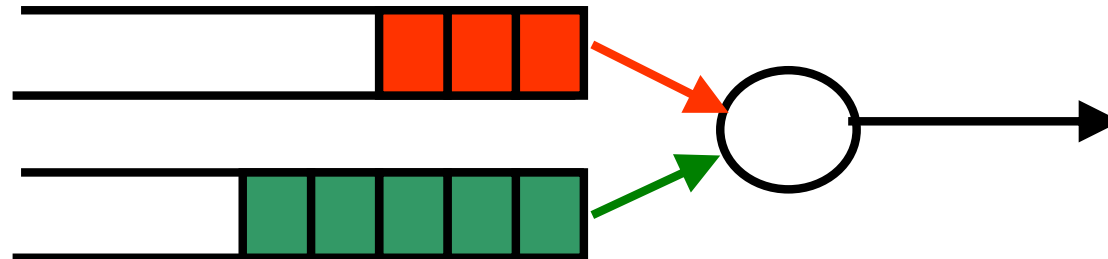
Linijske kartice: scheduleri striktnih prioriteta

□ Striktni prioritet

- Više nivoa prioriteta
- Uvijek prenosi saobraćaj visokog prioriteta ako ga ima i prisiljava niskoprioritetni saobraćaj da čeka

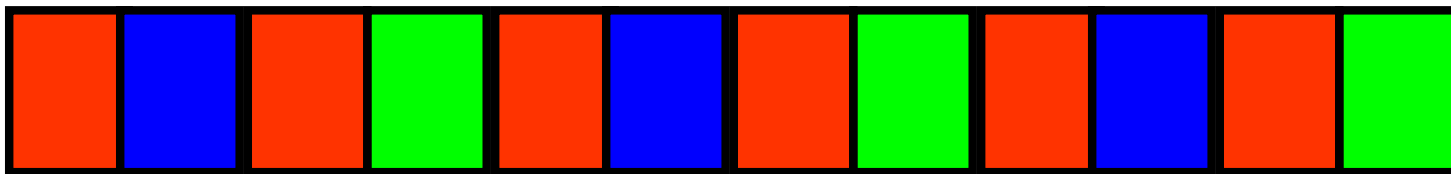
□ Izolacija visokoperformantnog saobraćaja

- Skoro isto kao kod dodijeljenog linka
- Unosi malo kašnjenje



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

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?

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

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

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

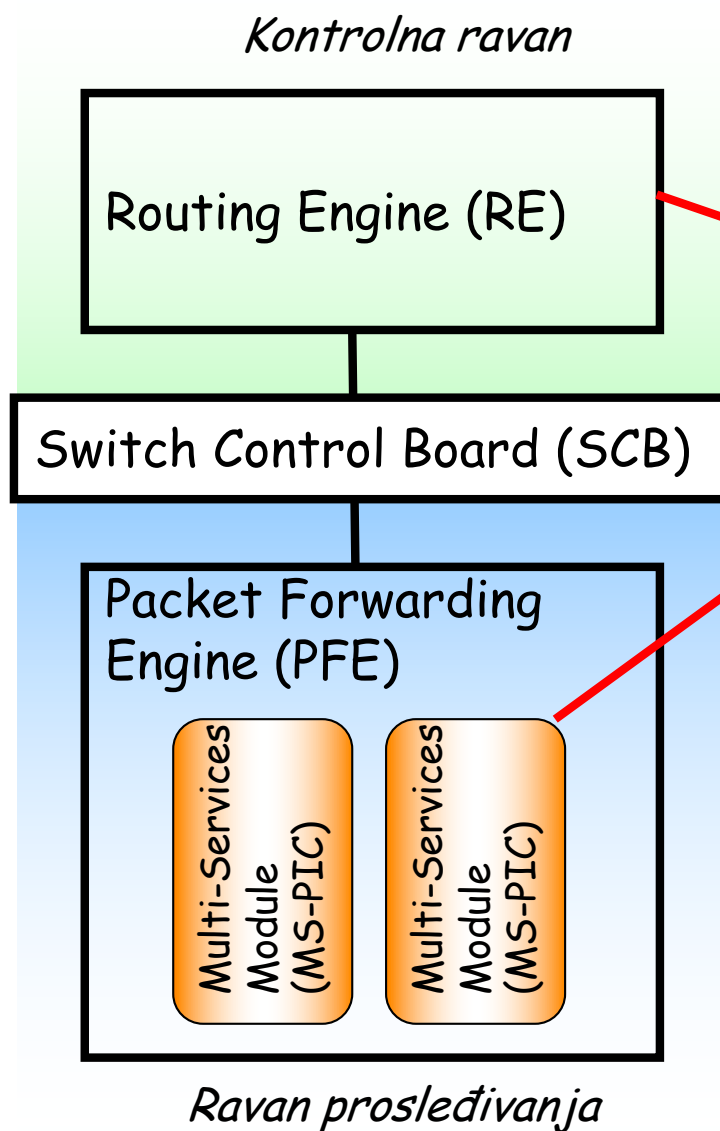
Procesor ruta

- ❑ “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

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	Linijska kartica, komutacioni uređaj	SW na procesoru ruta	Ljudi ili skripte

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

Klasifikacija rutera

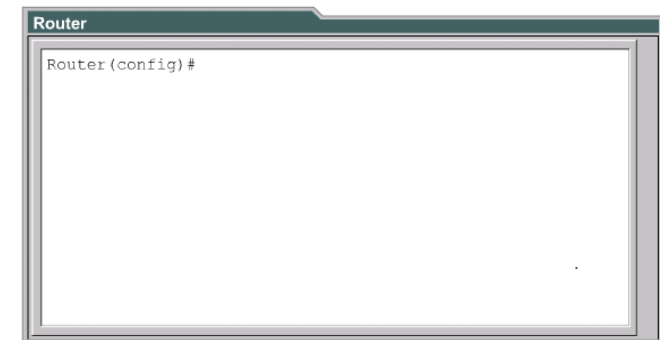
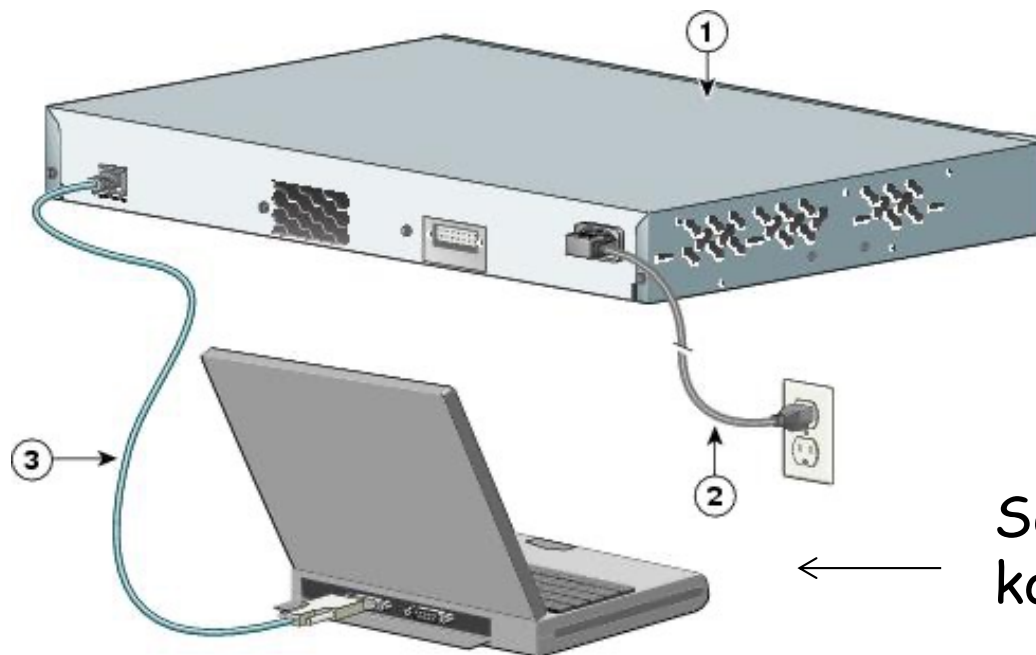
- ❑ Ruteri pristupne mreže
 - Podrška heterogenim brzim portovima i različitim protokolima
- ❑ Ruteri kompanijske mreže
 - Podrška velikom broju portova za nisku cijenu
 - QoS klase
 - Multicast i broadcast
 - Firewall, administracija i zaštita
- ❑ Ruteri okosnice
 - Podrška malom broju brzih linkova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

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
 - Definisanje kontrolnih politika

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



Serijski pristup
konzolnom okruženju Ruter 5-41

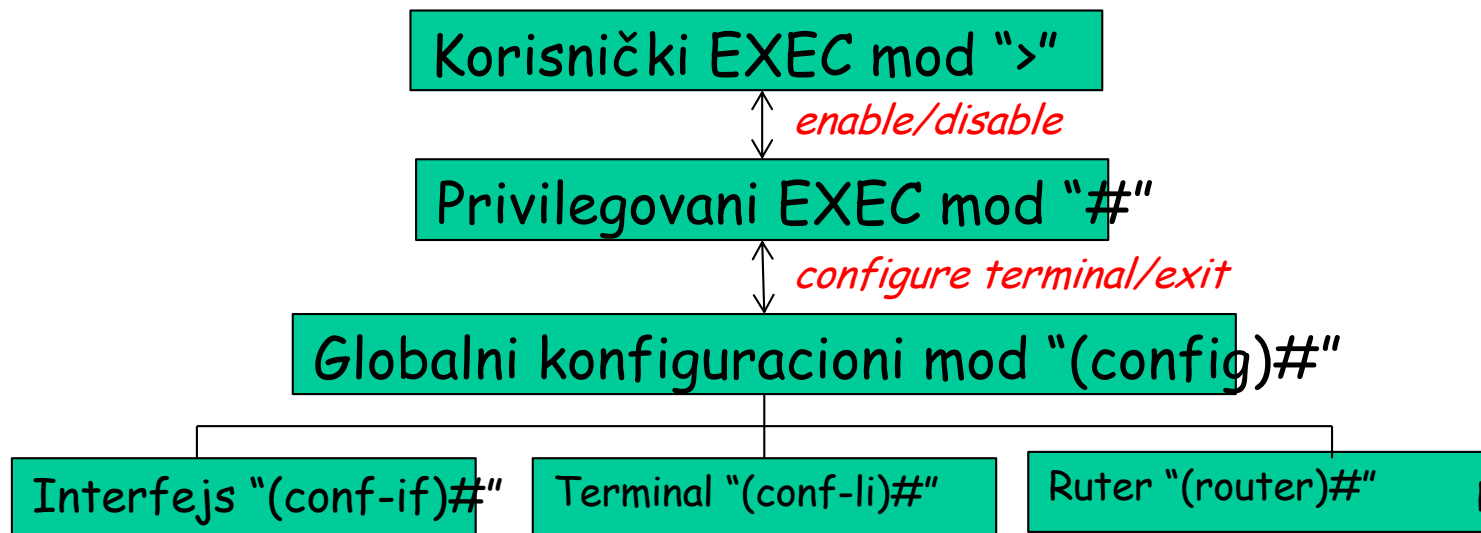
Konfiguracija rutera - Pristupni modovi

- ❑ **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 komadi moguće je dobiti unosom '?'

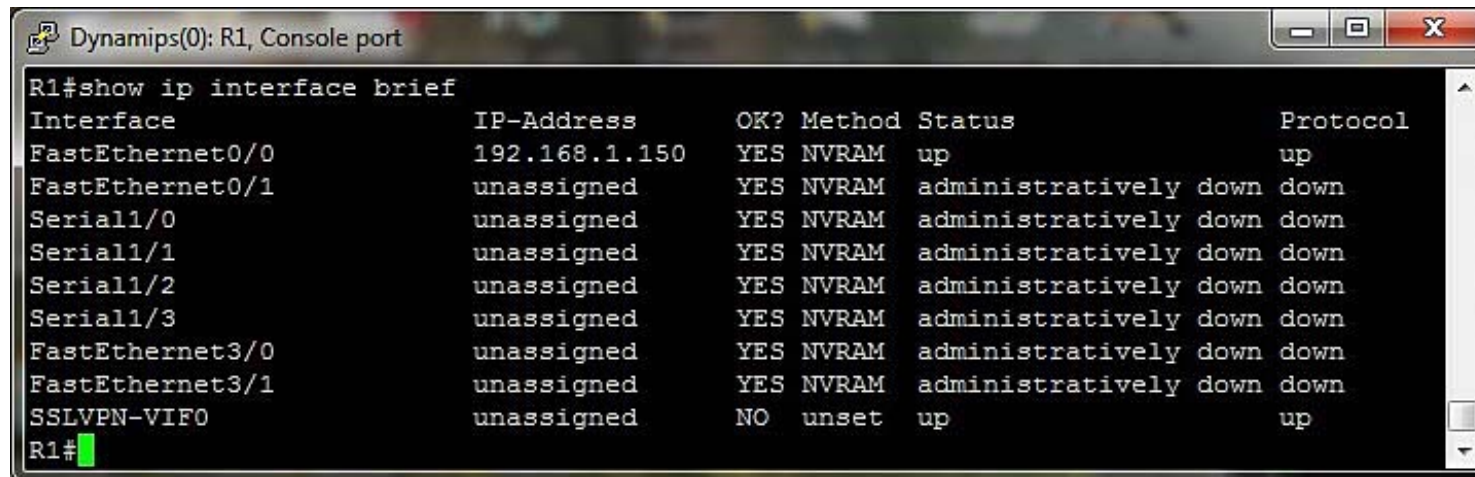
Konfiguracioni modovi IOS-a

- 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
SSLVPN-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

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