

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 doći
- ❑ 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

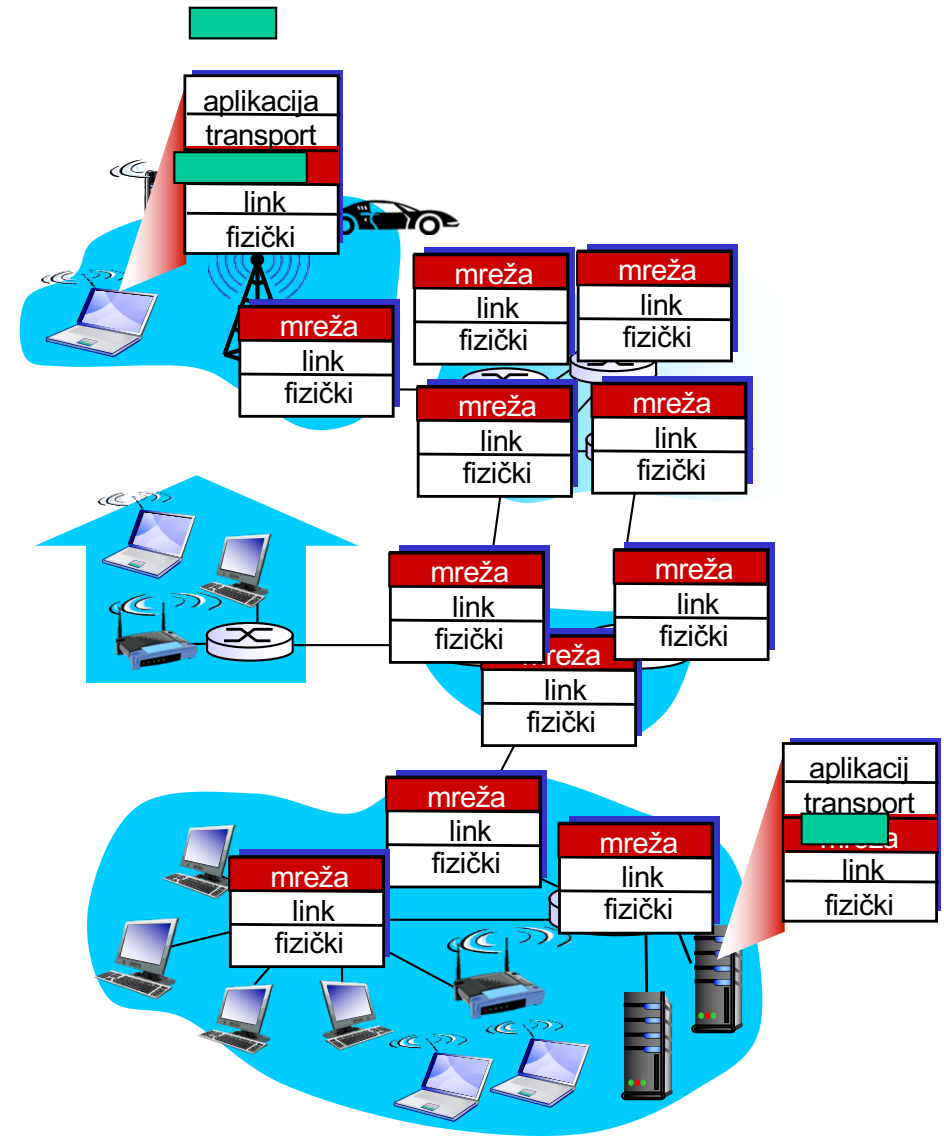
- Serijski portovi, Ethernet, WiFi, SDH, ...

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*

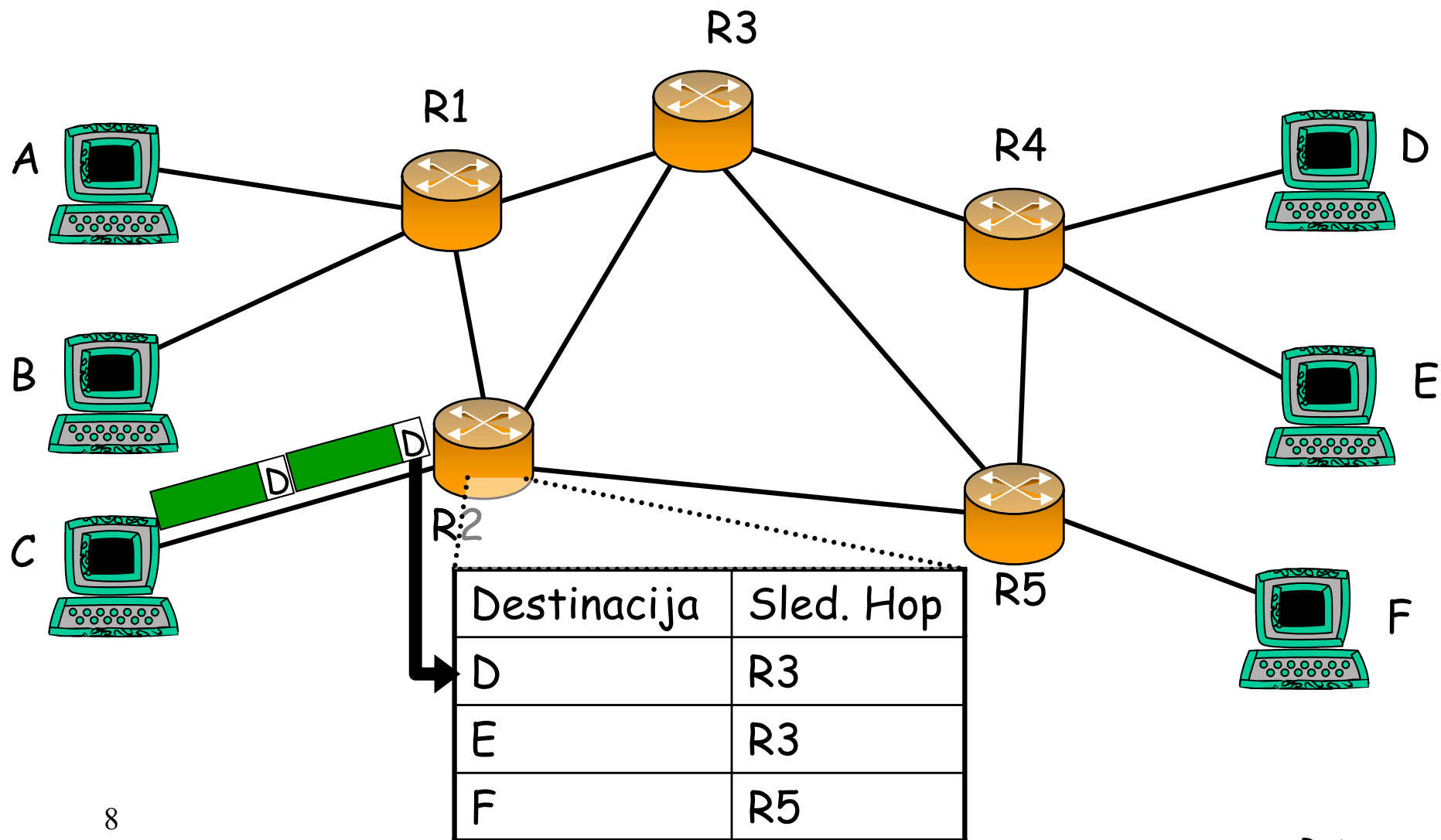
analogija:

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

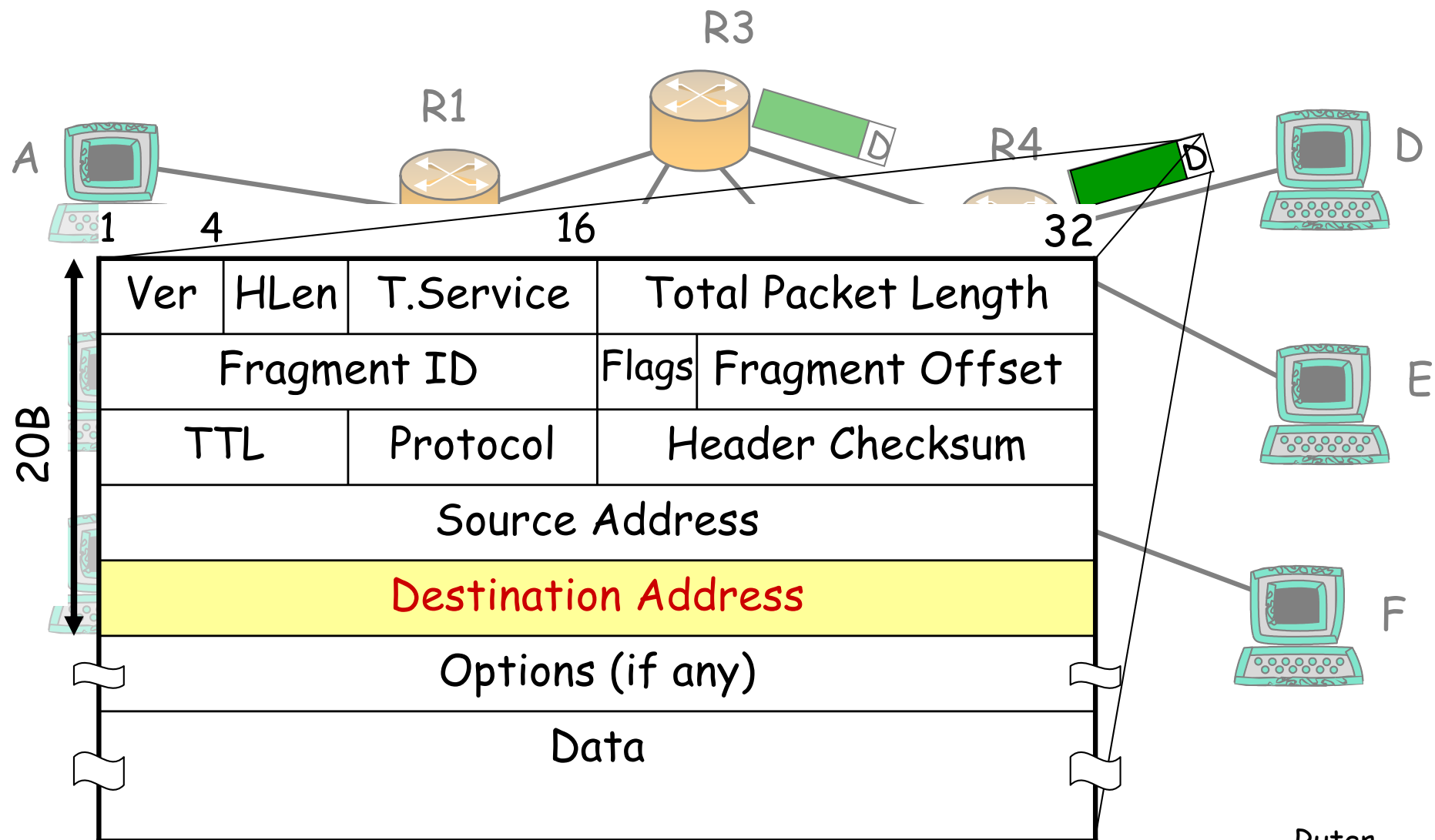
Šta je važno prilikom pronalaženja rute?

- ❑ 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

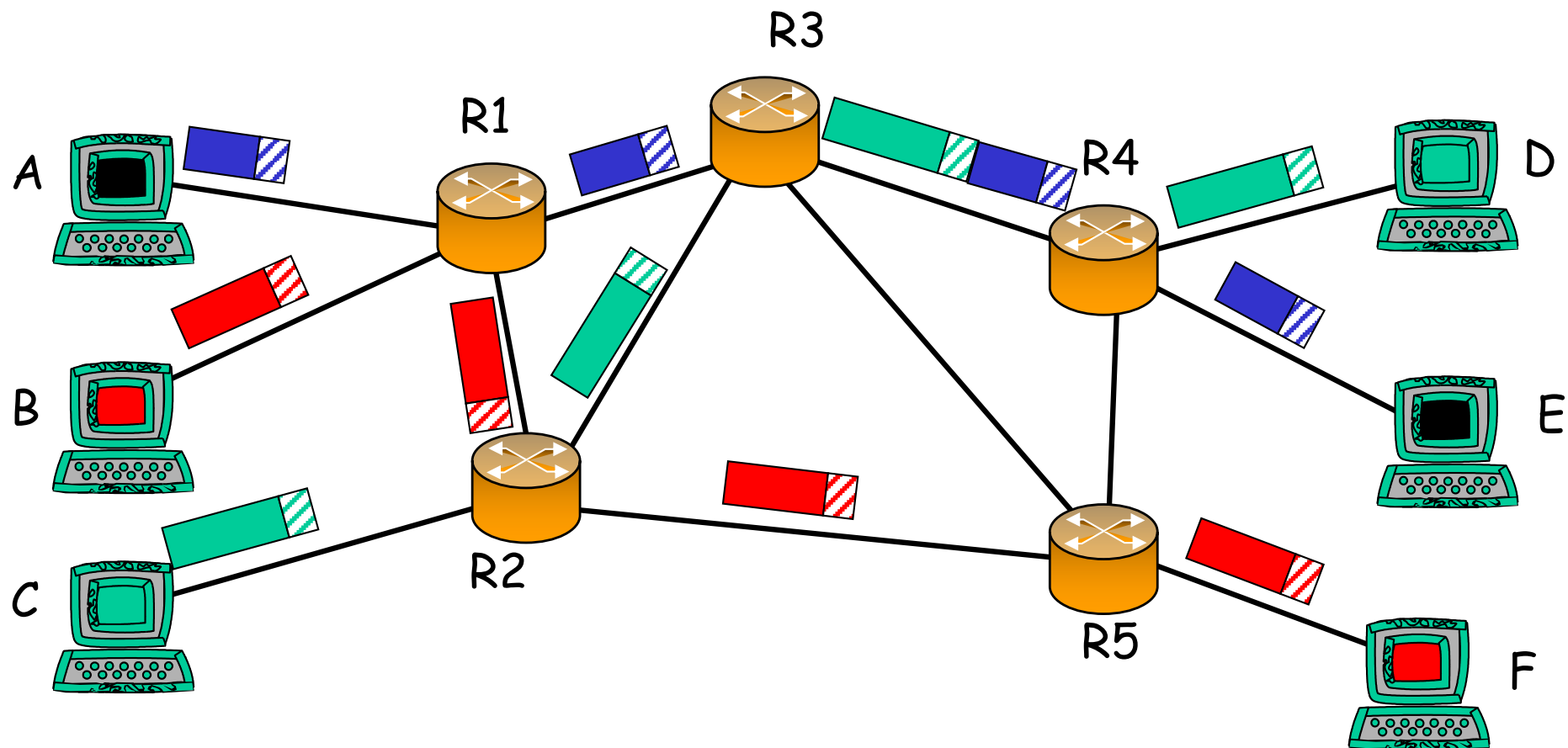
Prosleđivanje



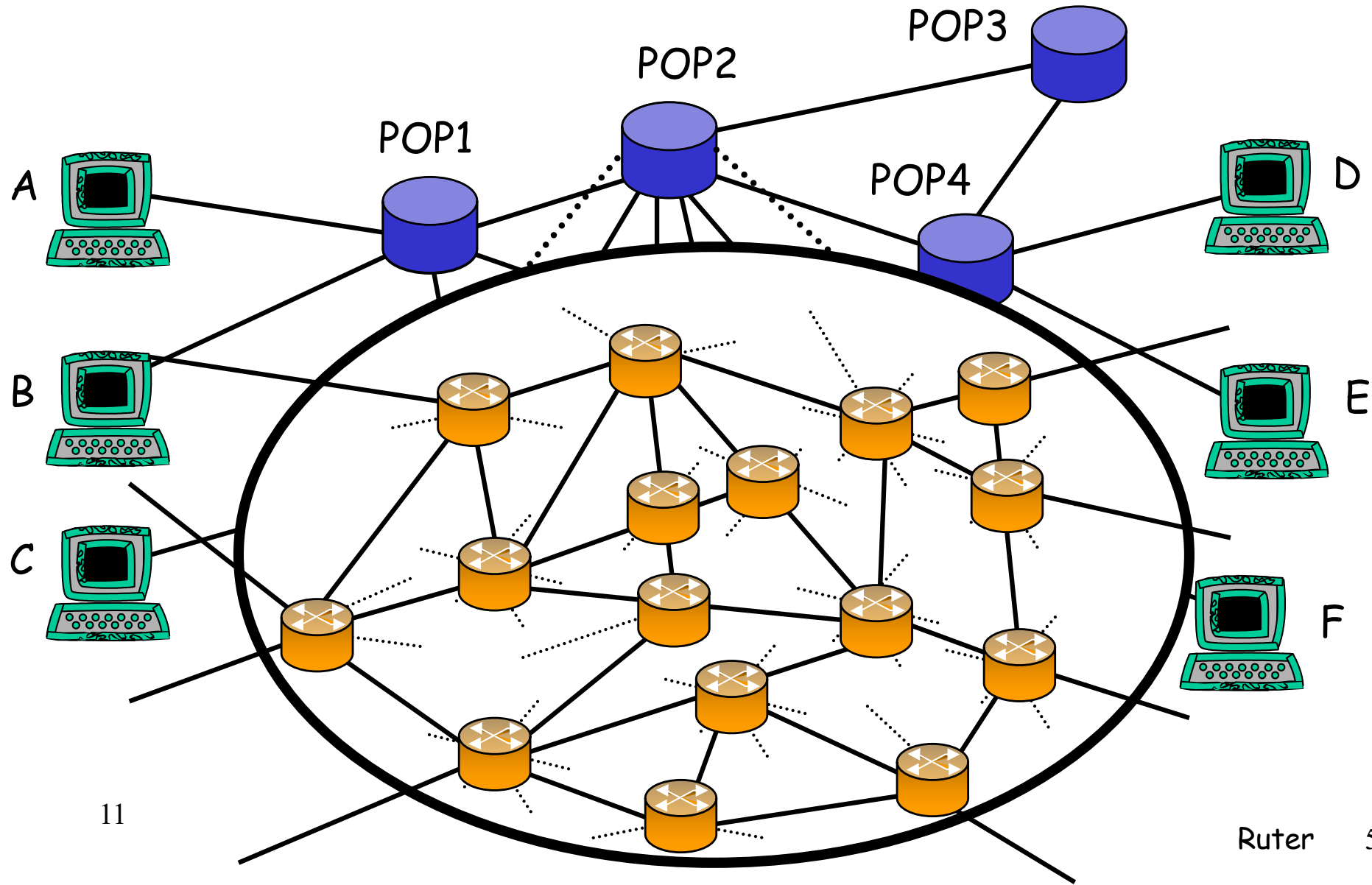
Rutiranje



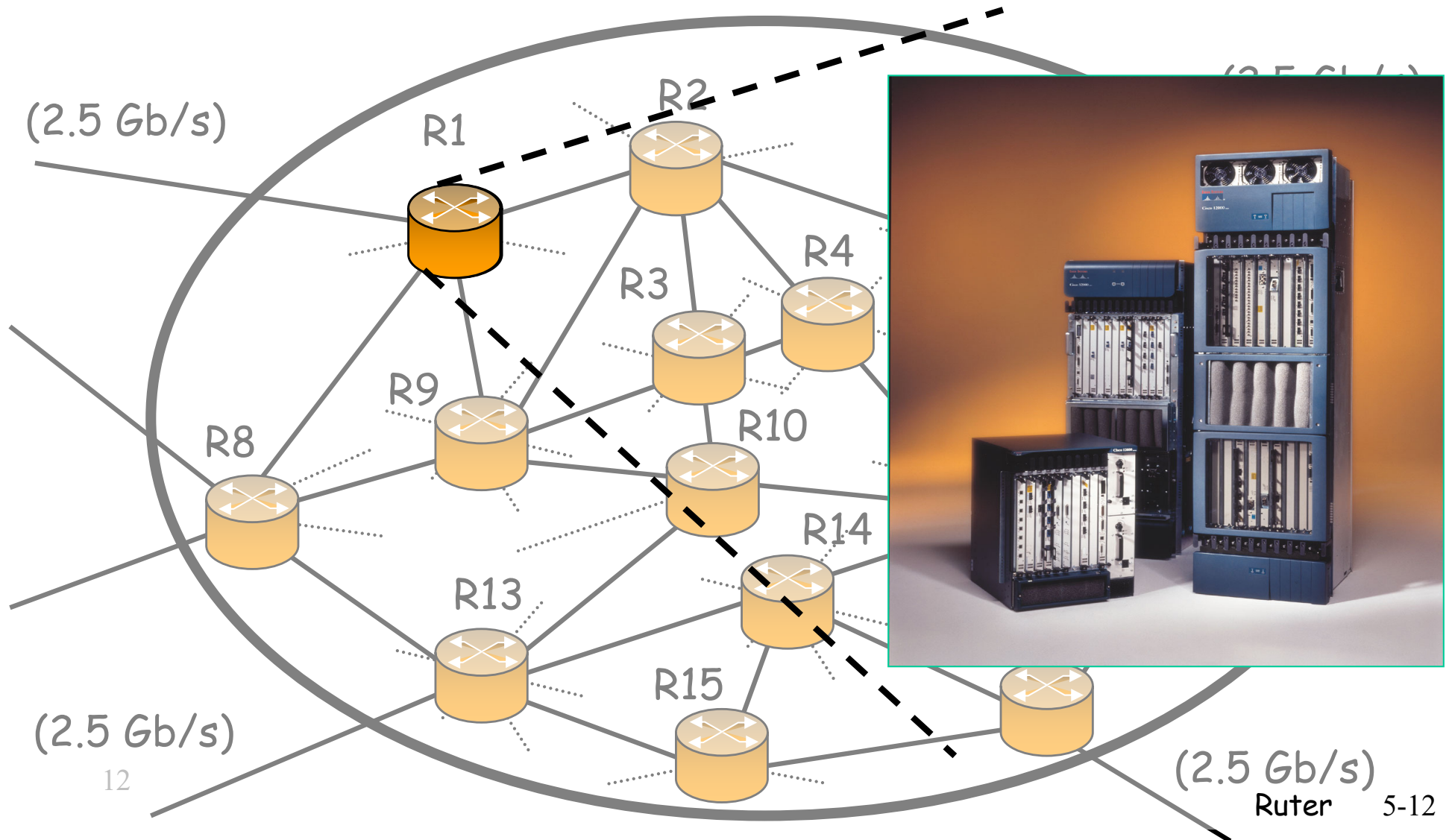
Rutiranje



Points of Presence (POPs)



Gdje se koriste visoko-performantni ruteri?



Funkcije rutera

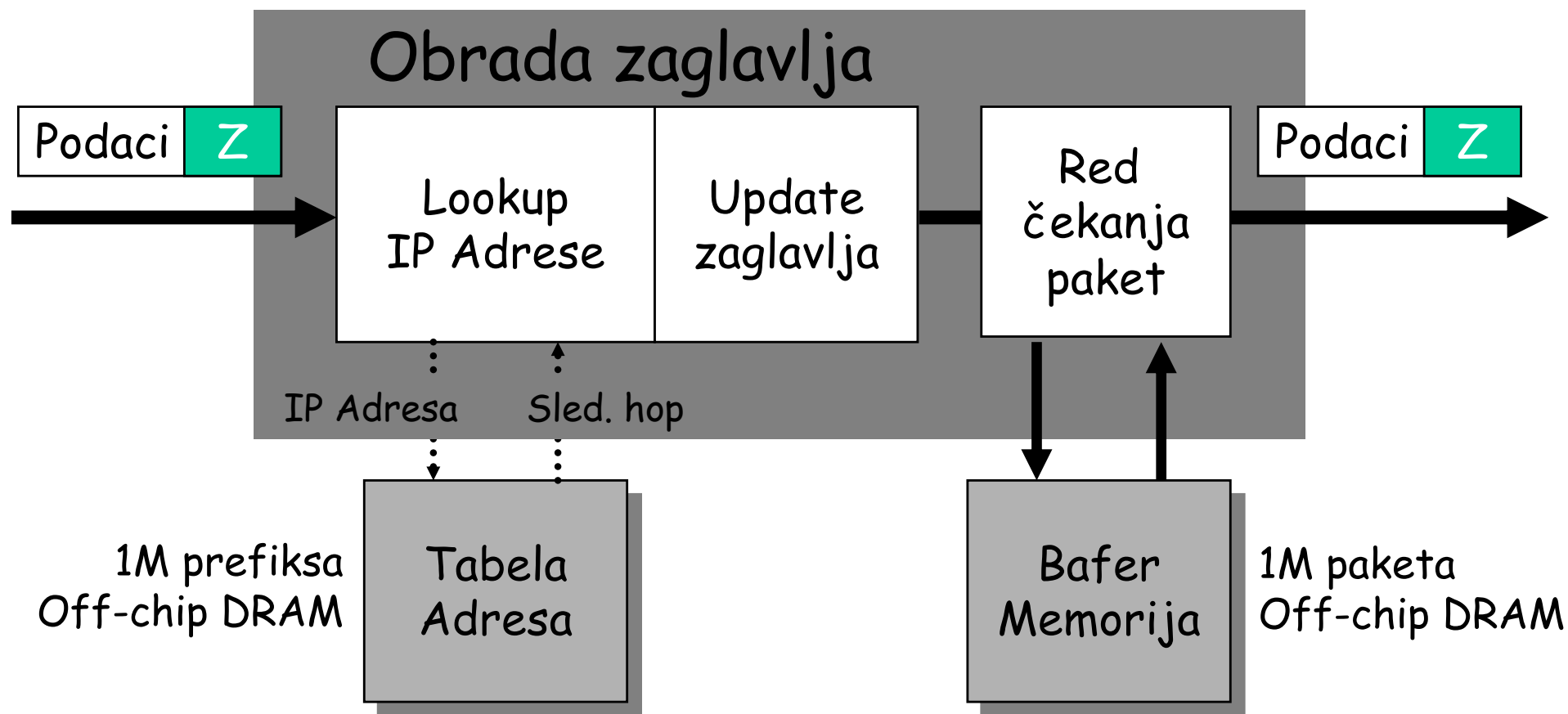


Lookup internet adresa

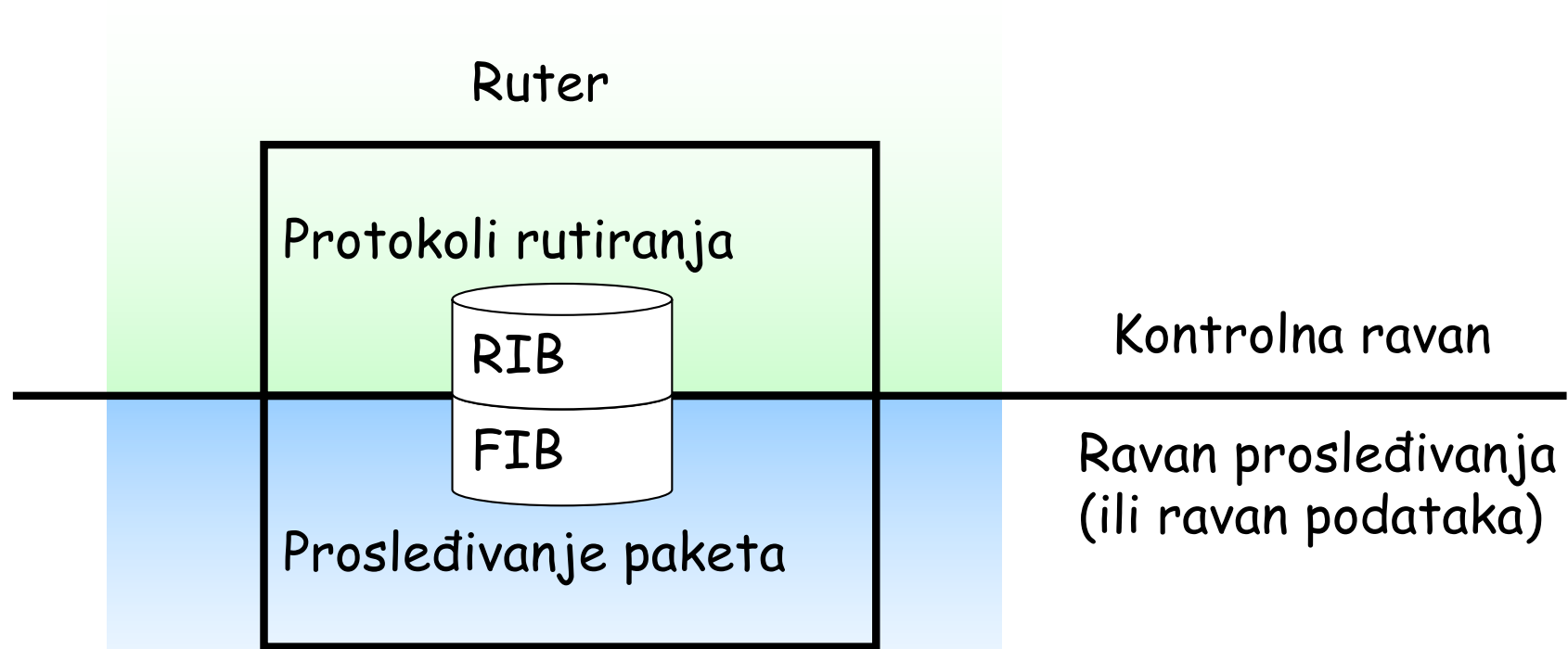
Provjera i ažuriranje
vremena boravka na
Internetu

Provjera i ažuriranje
checksume

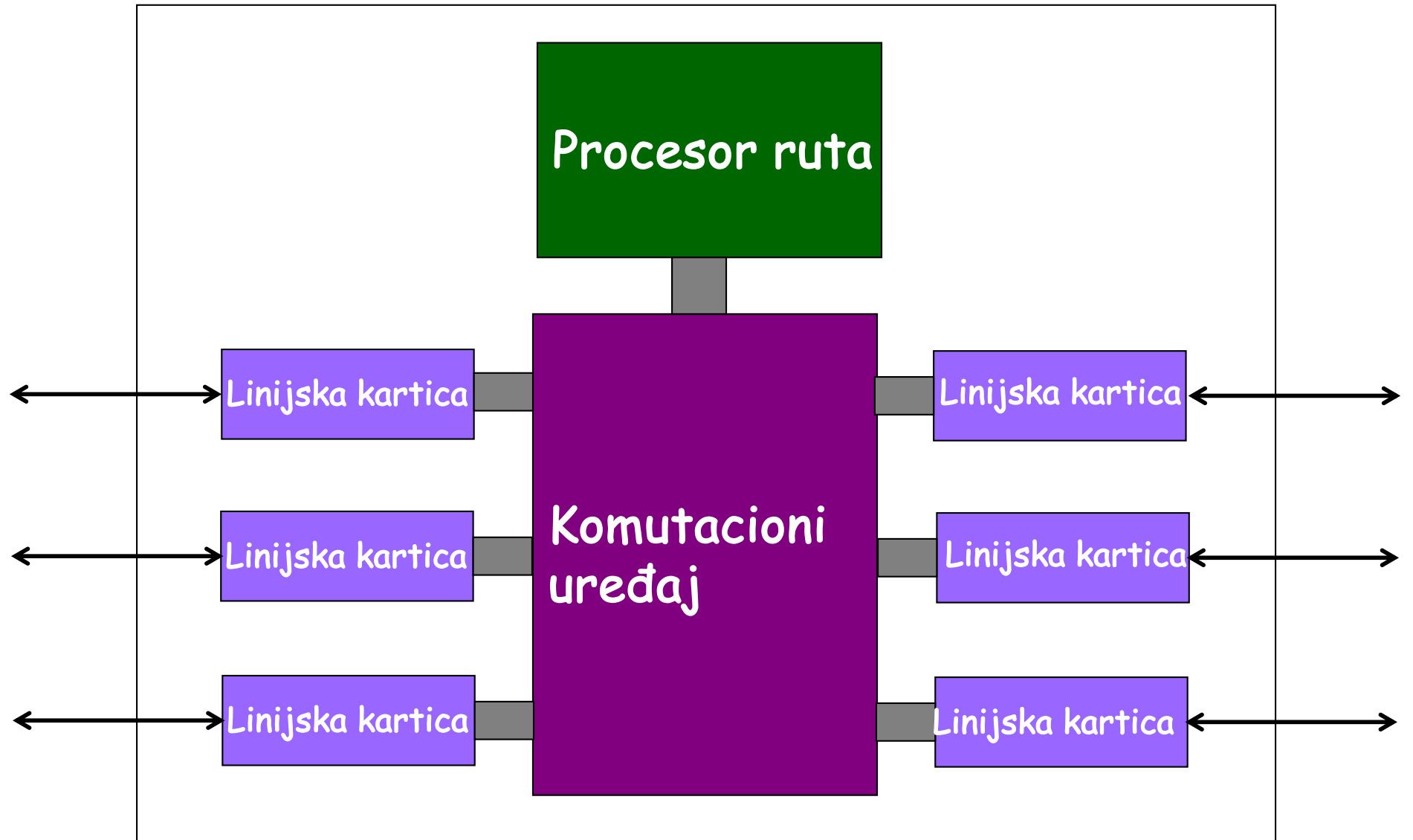
Generička arhitektura rutera



Fundamentalni dizajn rutera



Struktura

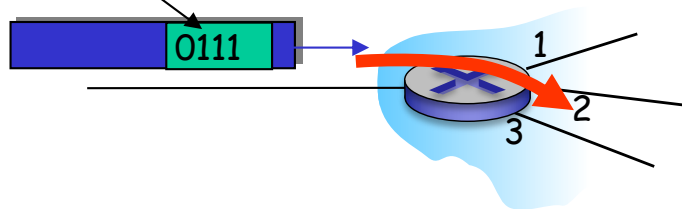


Mrežni nivo: ravan podataka, ravan kontrole

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

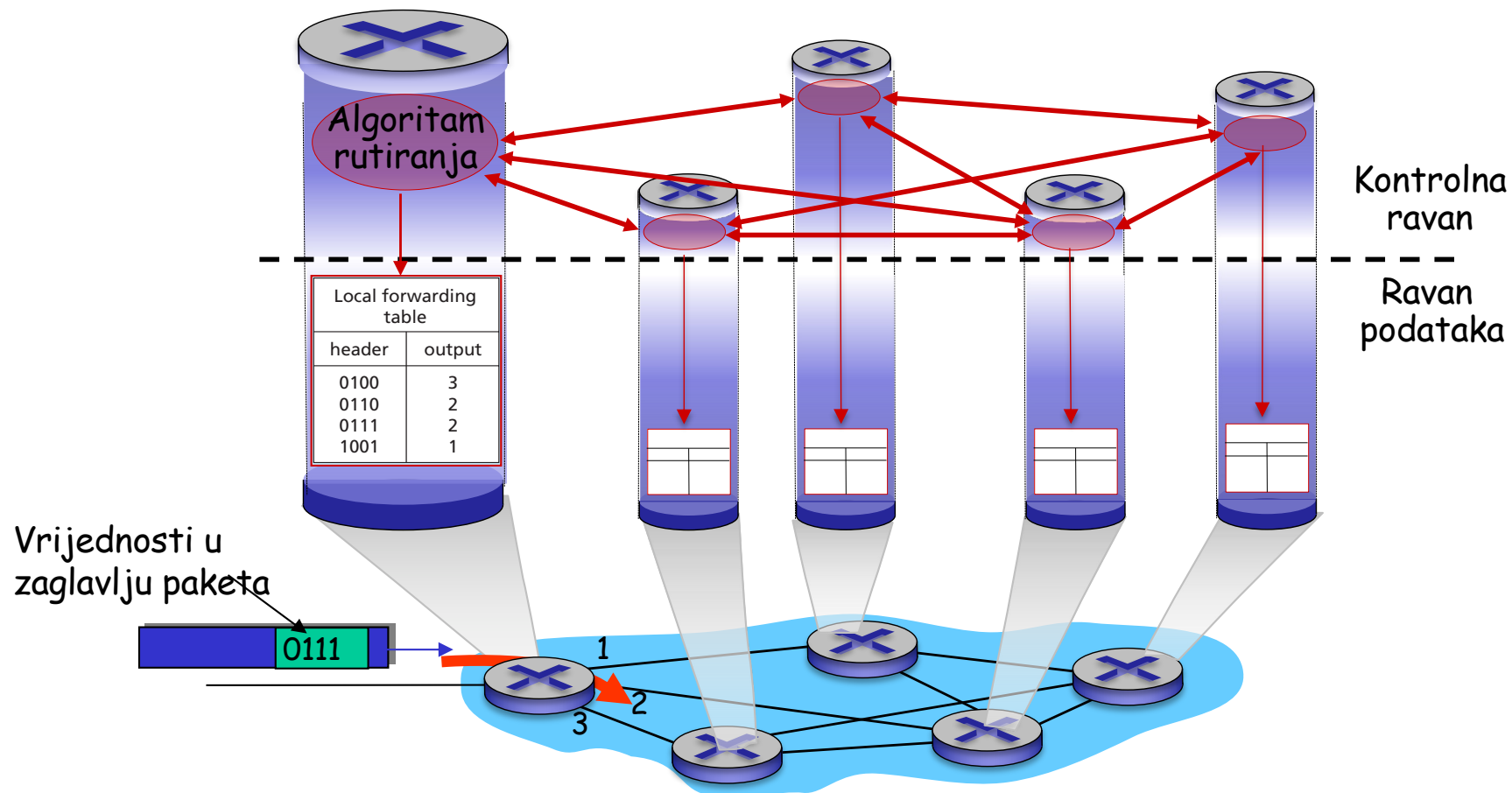


Kontrolna ravan

- 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

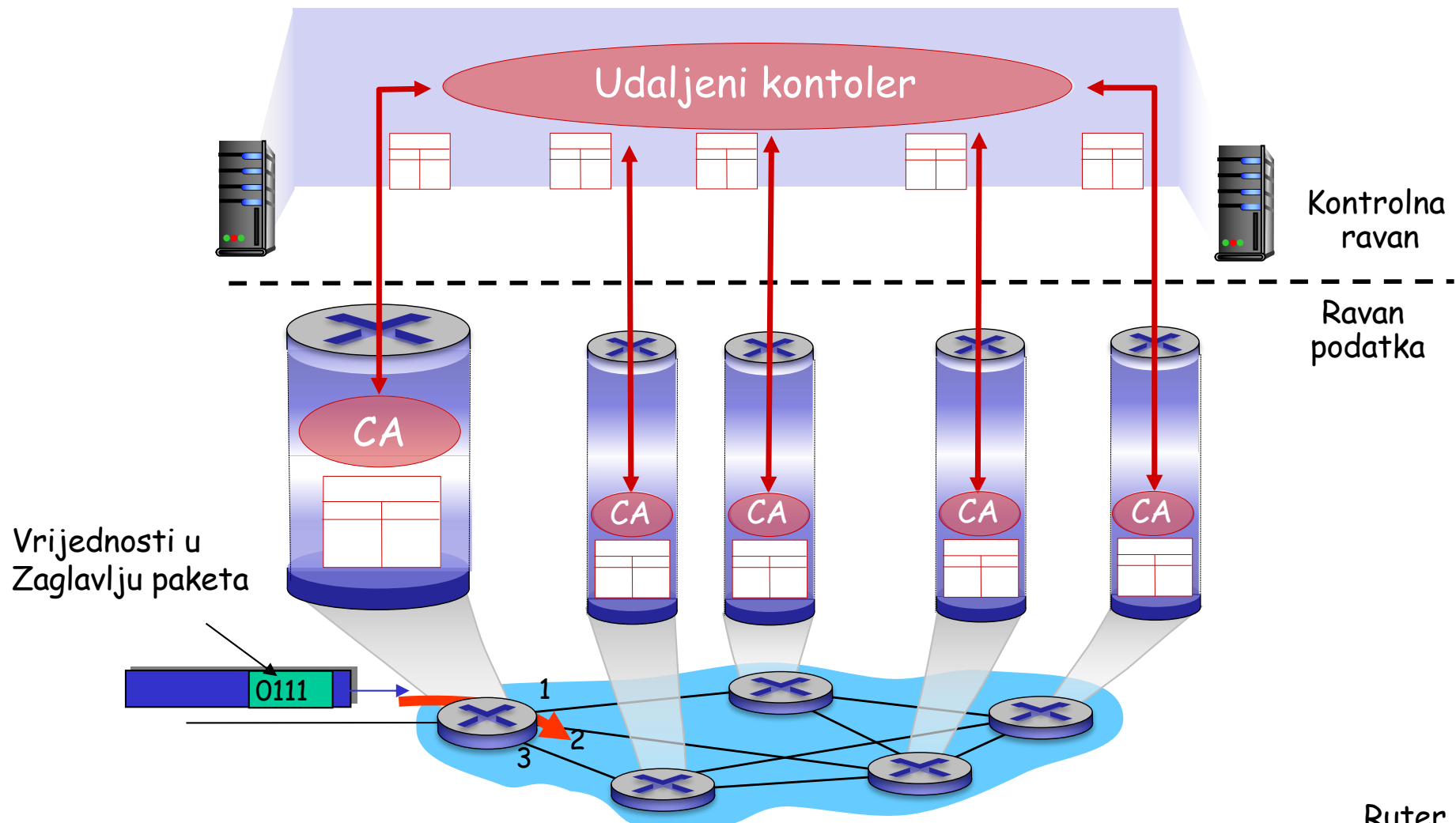
Distribuirana kontrolna ravan

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

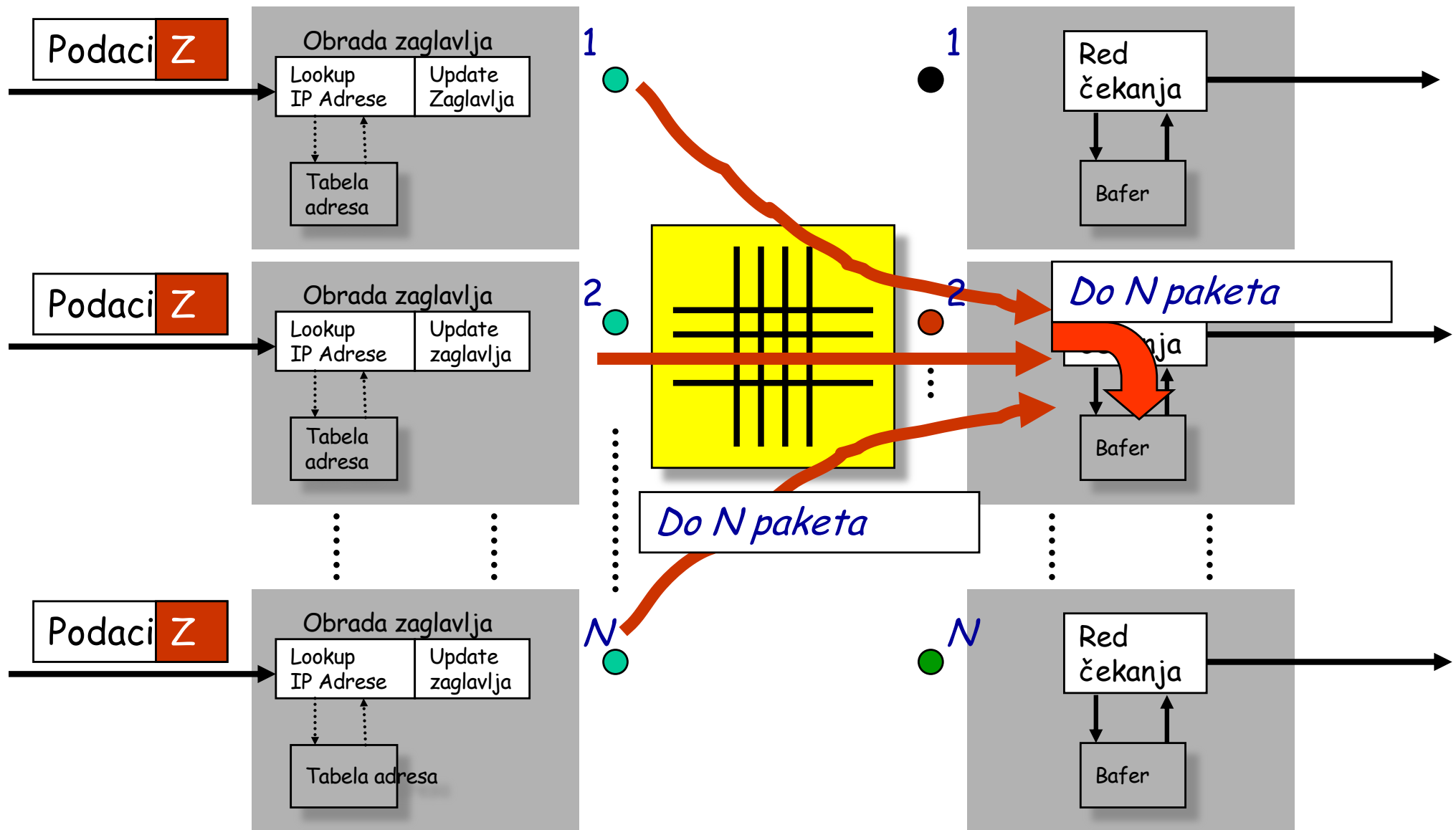


Centralizovana kontrolna ravan

Udaljeni kontroler interaguje sa lokalnim kontrolnim agentima (CAs)



Komutacioni uređaj



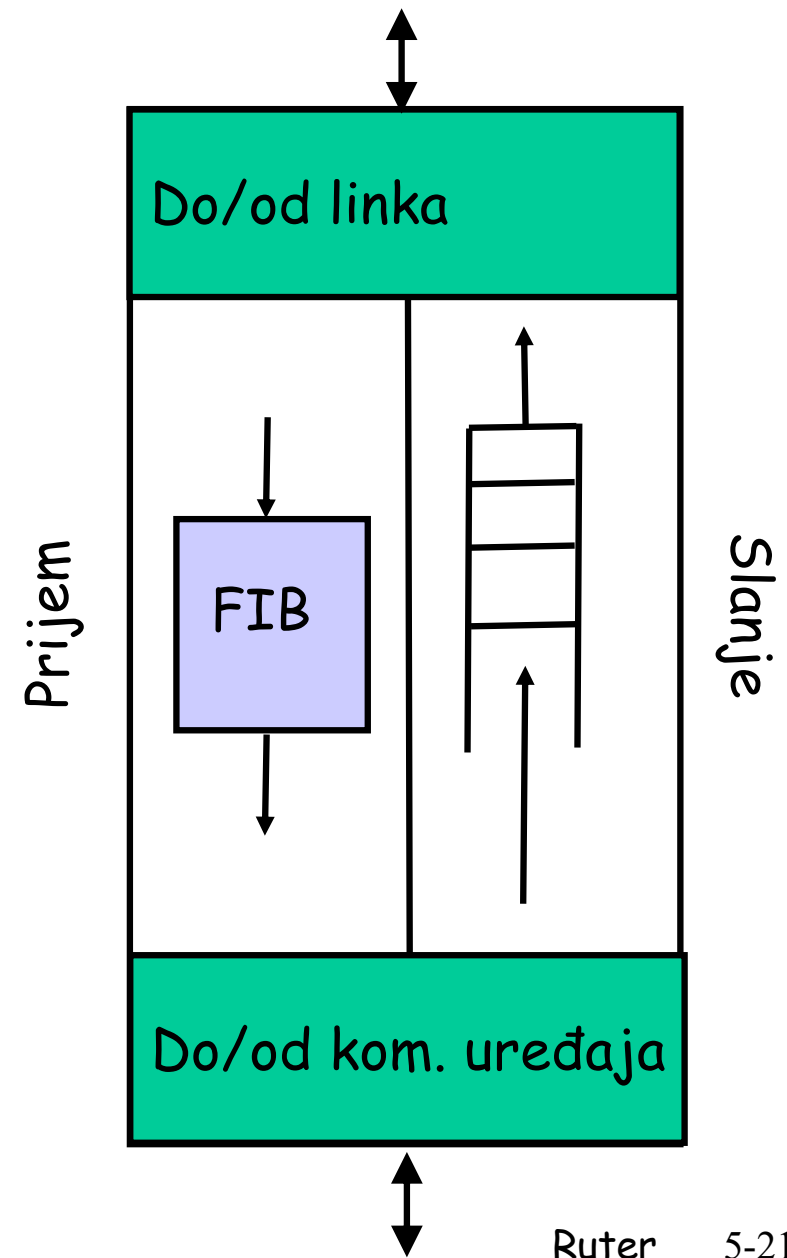
Linijske kartice

□ Povezuju

- Fizički link
- Komutacioni uređaj

□ Posluživanje paketa

- Analiza paketa
- Segmentacija/desegmentacija paketa
- Ulazno/izlazno baferovanje
- Tabela prosleđivanja (*Forwarding Information Base*)
- Filtriranje paketa (ACL-ovi)
- Upravljanje baferima
- *Link scheduling* (izlaz)
- Ograničavanje brzine (izlaz)
- Markiranje paketa
- Mjerenje



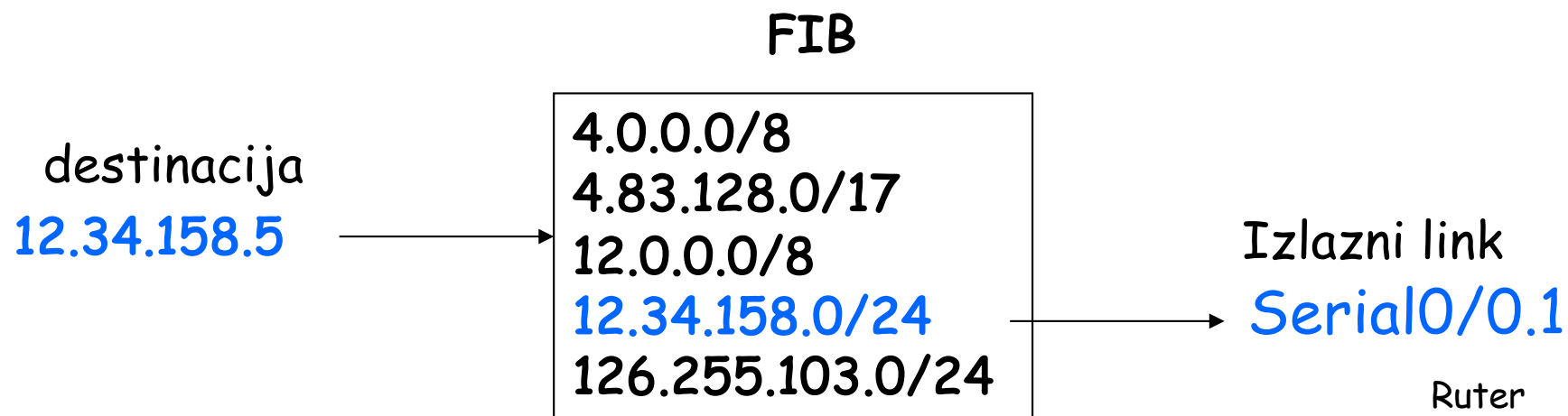
Linijske kartice : Prosleđivanje saglasno najdužem prefiksu

❑ *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

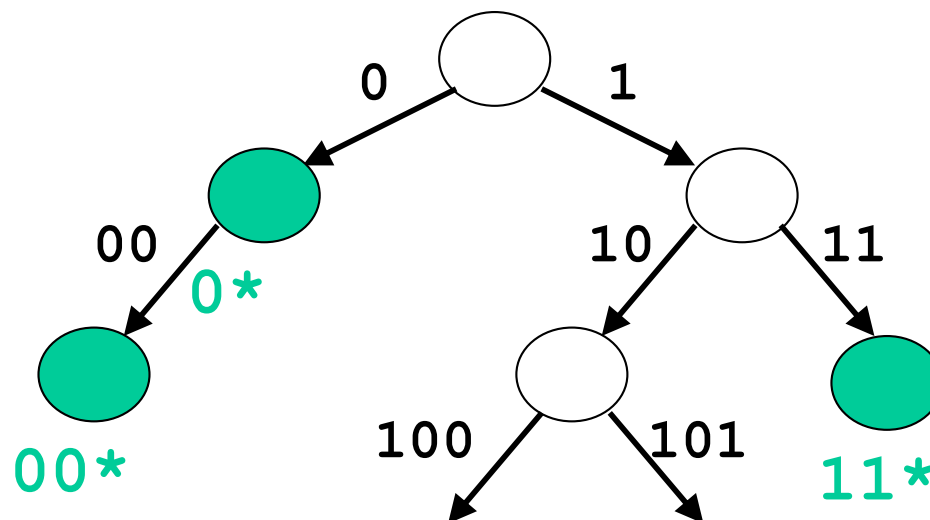


Linijske kartice: Najjednostavniji algoritam je spor

- ❑ 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 interfejs 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

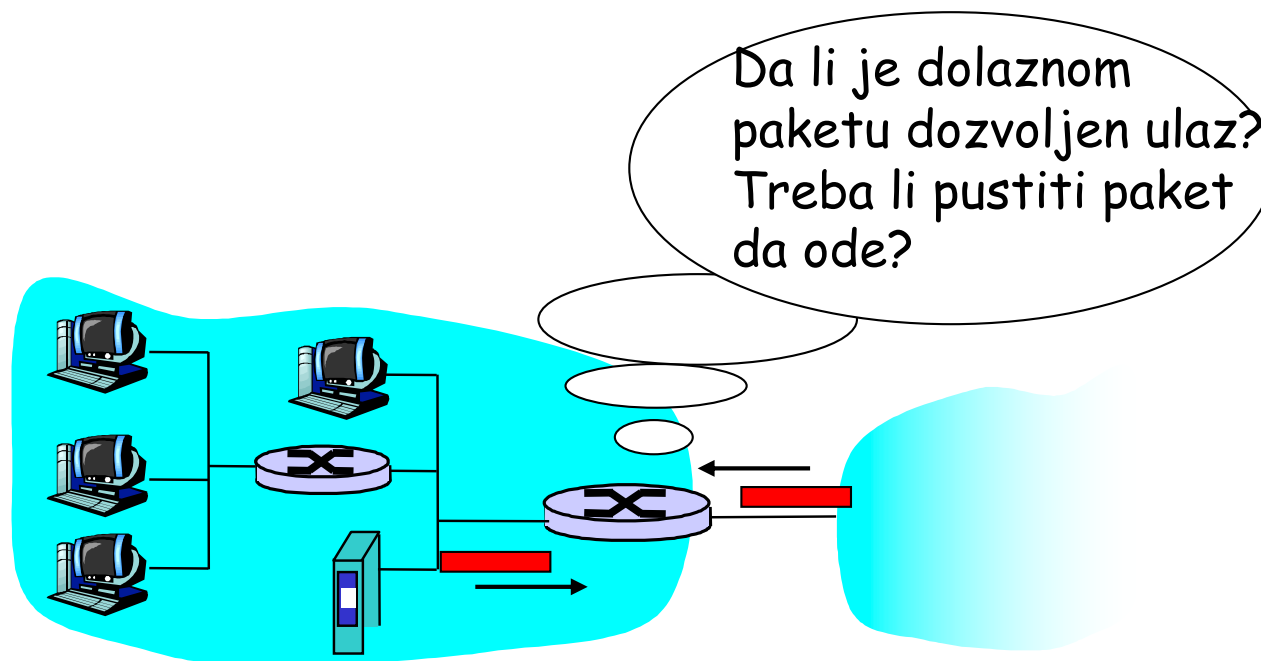
❑ *Route cache* na linijskoj kartici

- Nadzire mali *FIB cache* na svakoj linijskoj kartici
- Čuva (destinacija, izlazni link) mapiranja
- Ono što ne sadrži *cache* posluhuje 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*

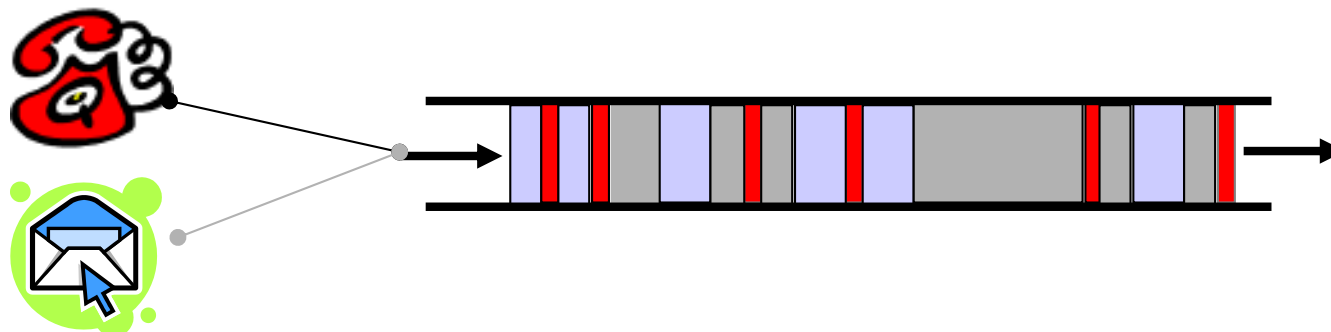
- Najjednostavniji za implementaciju
- Ograničen u pogledu predikcije performansi

□ 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



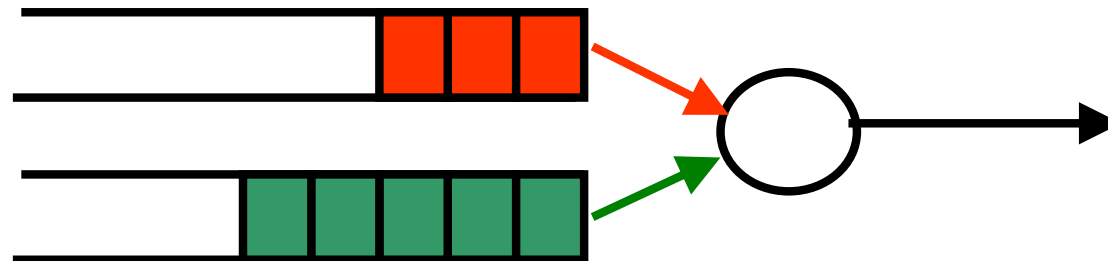
Linijske kartice: scheduleri striktnih prioriteta

□ 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



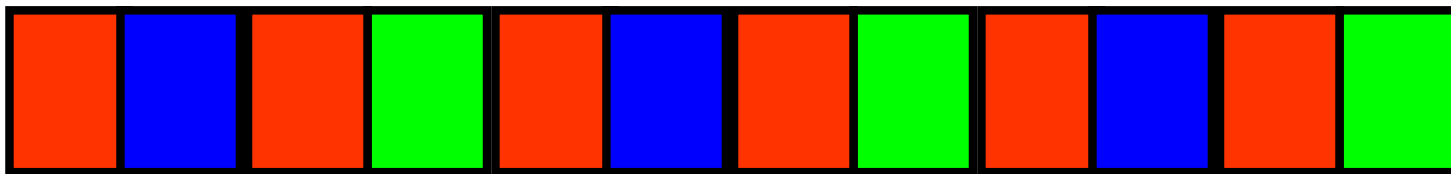
Linijske kartice: težinski scheduleri

❑ 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

- Ilica 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?

□ Zavisi...

- Mora ograničiti obim saobraćaja jedne klase
- Ili markirati saobraćaj najnižeg prioriteta

□ QoS u sklopu menadžmenta mreže

- Konfigurisanje klasifikatora paketa
- Konfigurisanje *policy maker*-a
- Konfigurisanje *scheduler*-a

□ 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

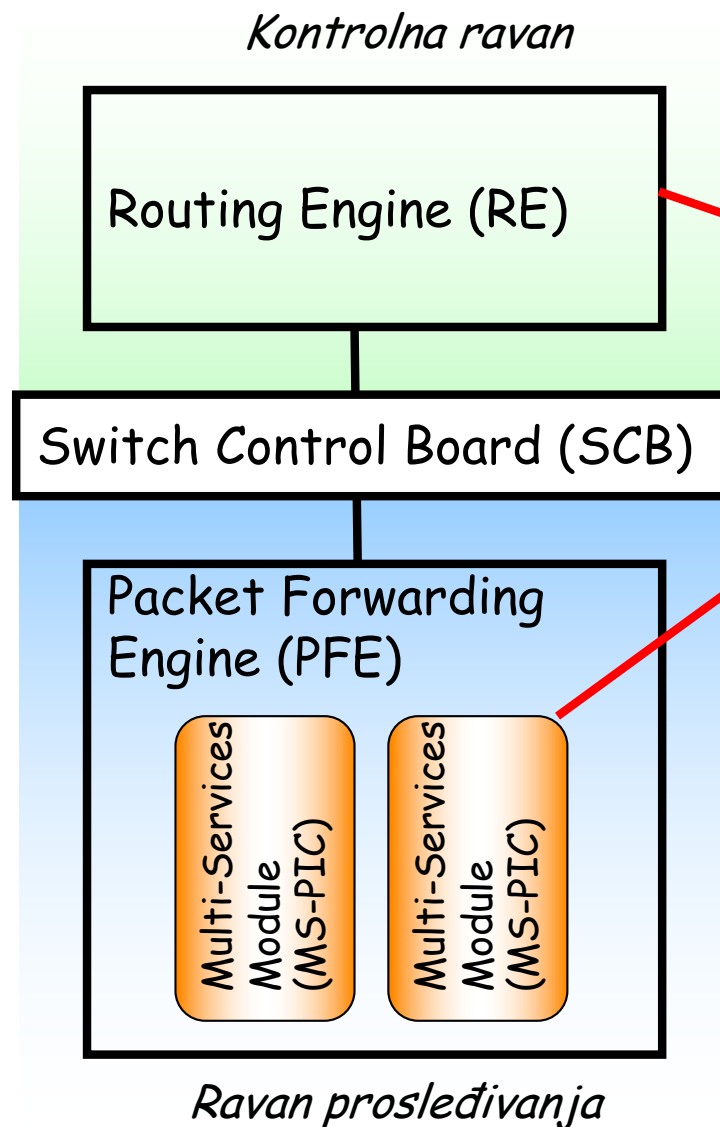
Procesor ruta

- ❑ “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 <i>scheduling</i>	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

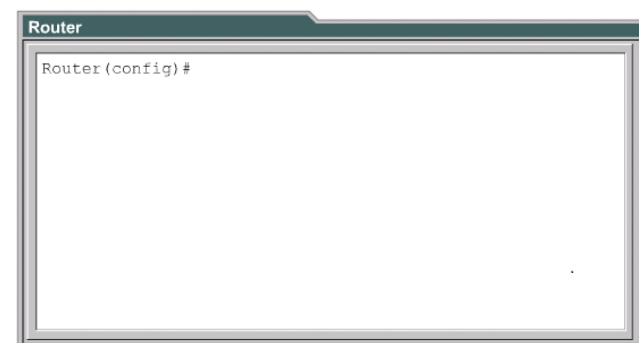
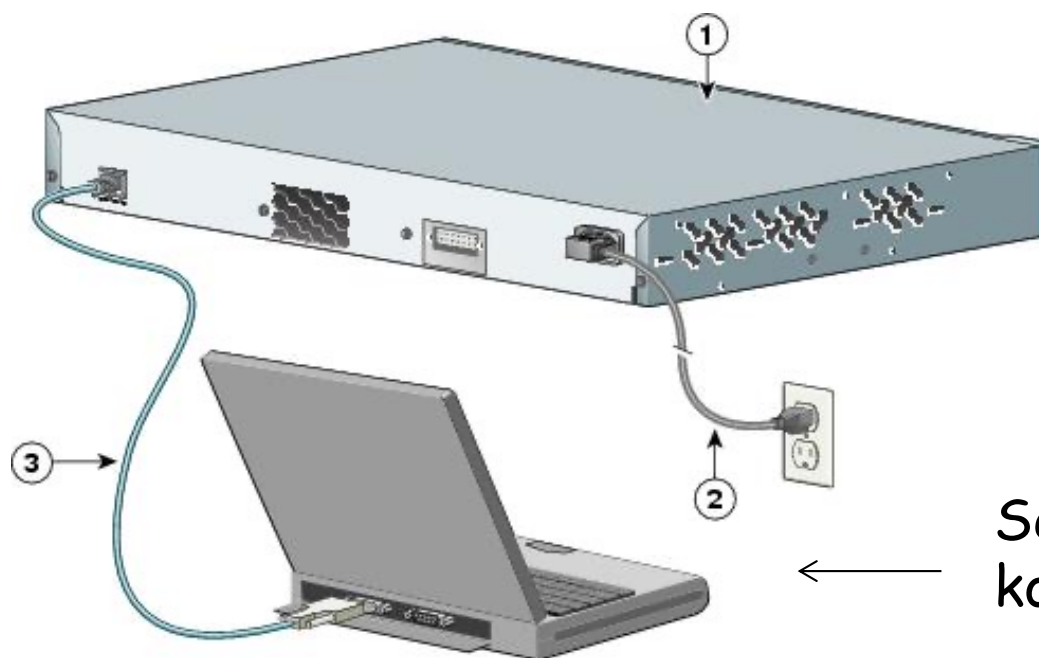
- Podrška malom broju brzih linkova
- Pouzdanost i velika brzina
- Stabilnost protokola rutiranja

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

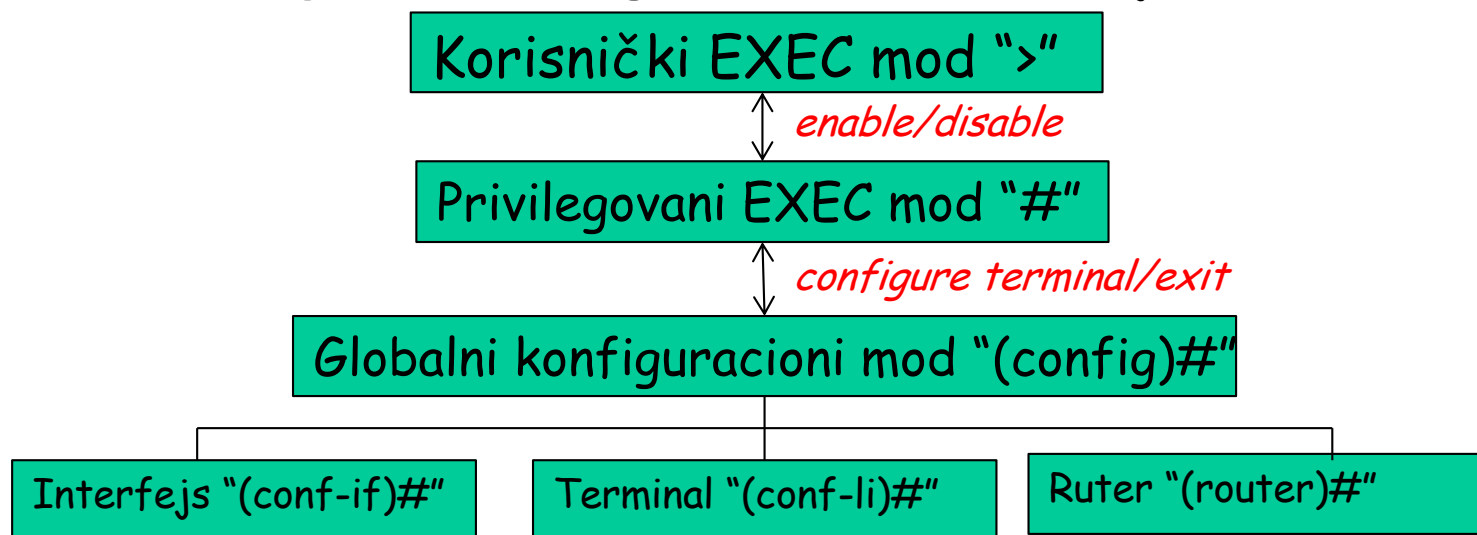
Konfiguracija rutera - Pristupni modovi

- ❑ **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 '?'

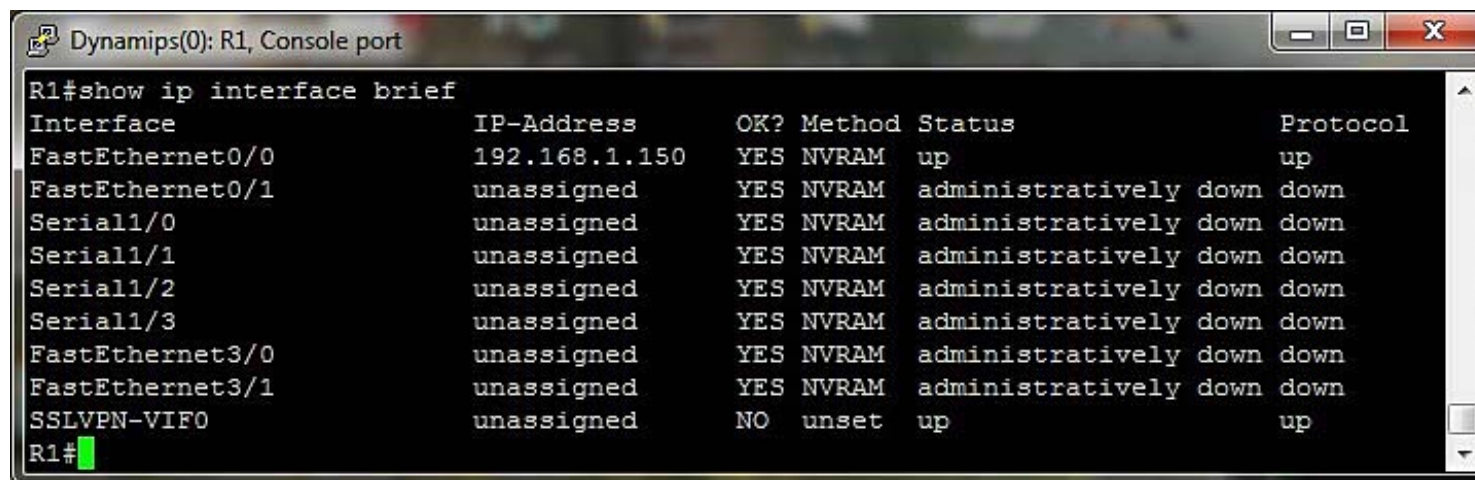
Konfiguracioni modovi IOS-a

- 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 komutacioni
 - RuterA#(config-line)login

Proces konfiguracije rutera

□ Konfigurisanje interfejsa

- RuterA#(config)interface ethernet 0/0
- RuterA#(config-if)ip address 147.91.168.3 255.255.255.0
- RuterA#(config-if)no shutdown

□ Konfigurisanje ruta i protokola rutiranja

□ Čuvanje konfiguracionih parametara u NVRAM memoriju

- RuterA#copy running-config startup-config