

# 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 tabele rutiranja može doći
- ❑ Šta su teškoće?
  - Heterogene tehnologije linka
  - Podrška schedulingu različitih klasa
  - Učešće u kompleksnim distribuiranim algoritmima radi generisanja tabele 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

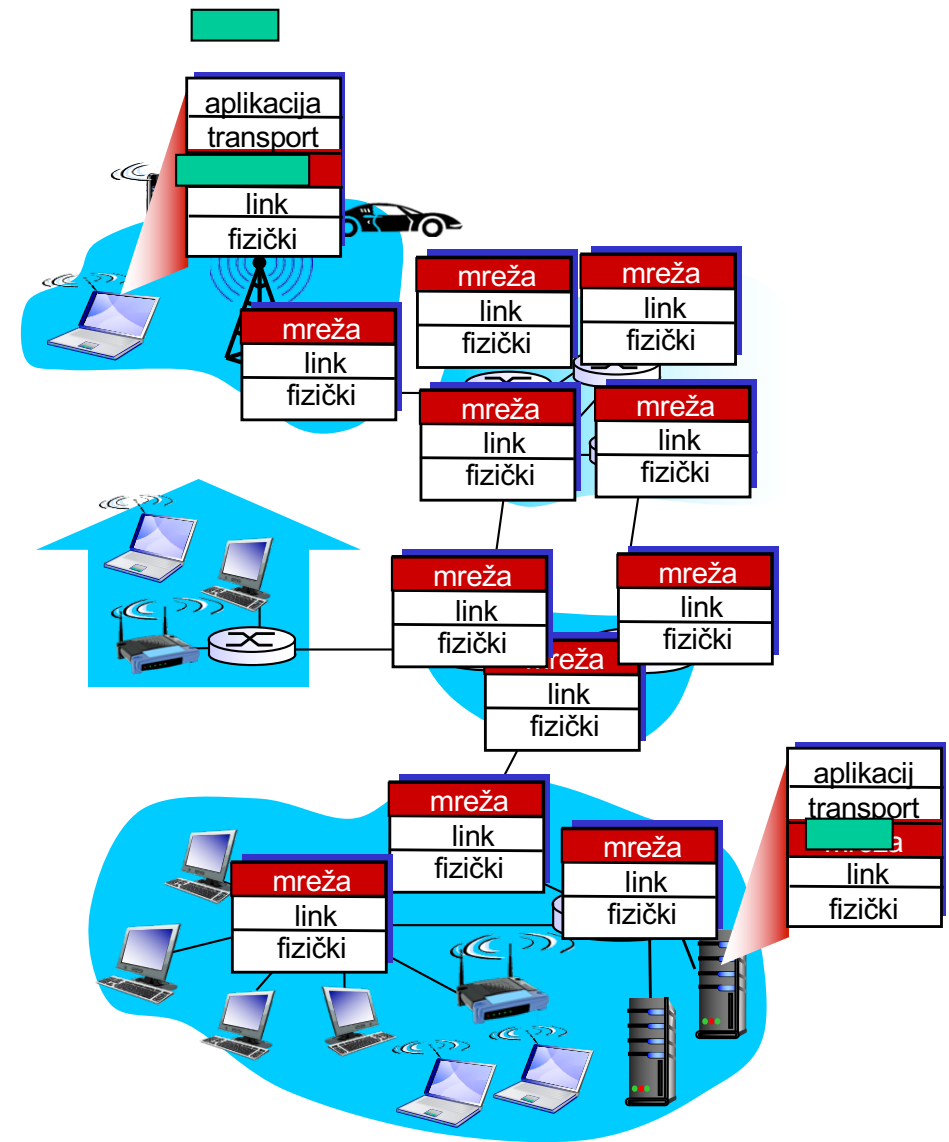
- Serijski portovi, Ethernet, WiFi, SDH, ...

# 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 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

# 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*

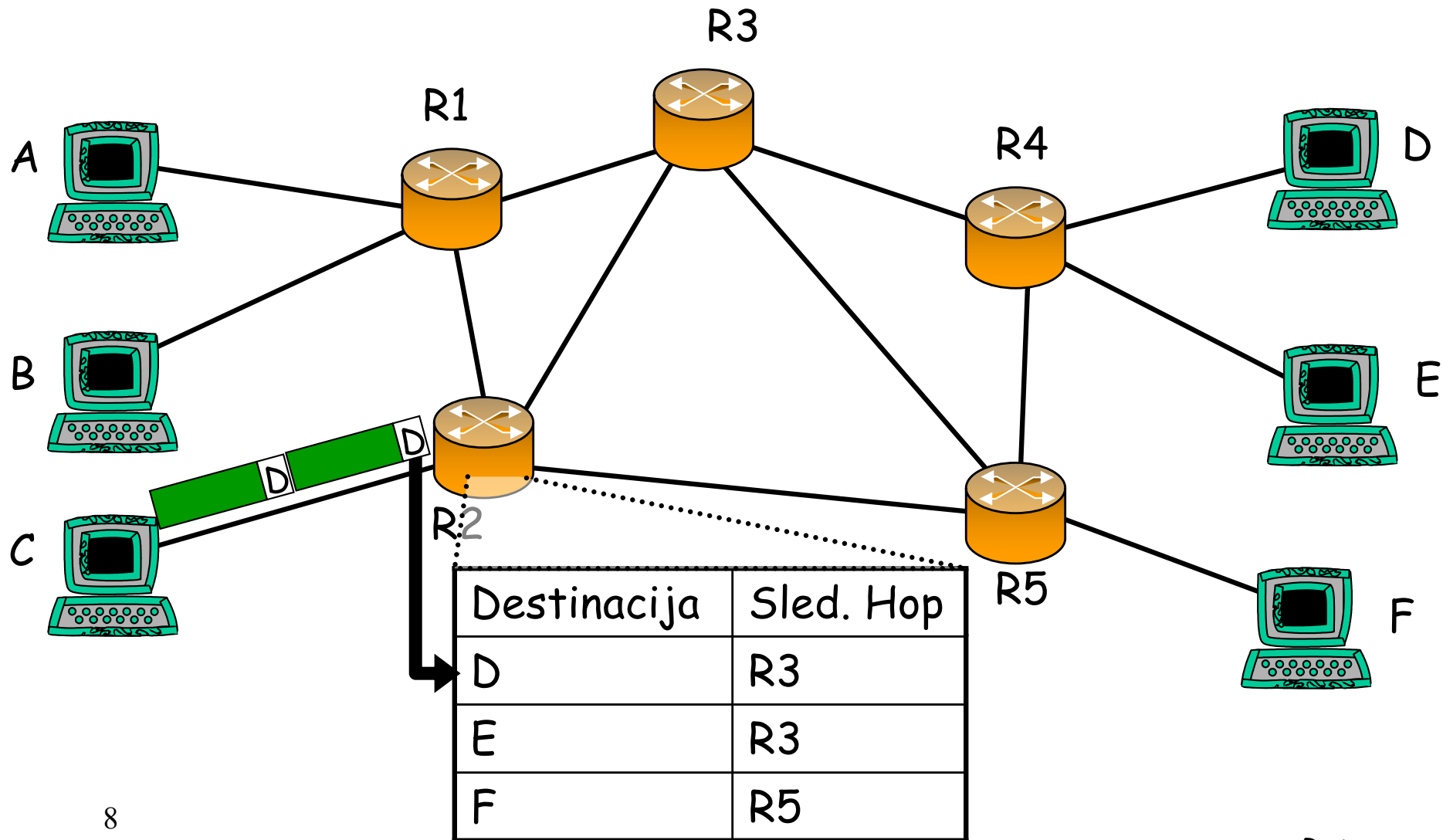
## analogija:

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

# Šta je važno prilikom pronalaženja rute?

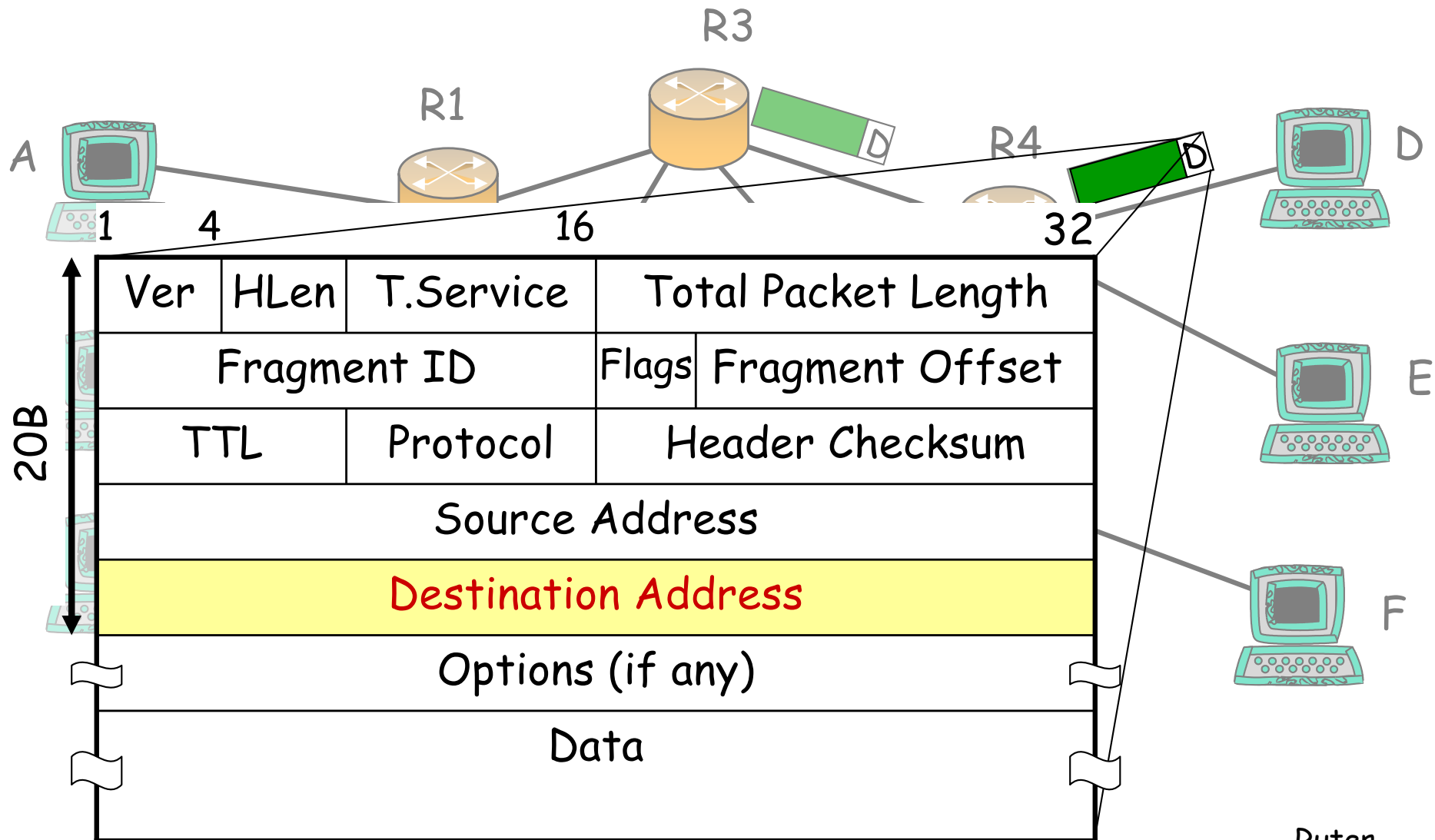
- ❑ Performanse od kraja do kraja
  - Kvalitet puta utiče na performanse
  - Propagaciono kašnjenje, propusnost i gubici paketa
- ❑ Iskorišćenost mrežnih resursa
  - Balansiranje saobraćaja preko rutera i linkova
  - Izbjegavanje zagušenja balansiranjem saobraćaja
- ❑ Prolazni poremećaji prilikom promjena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

# Prosleđivanje

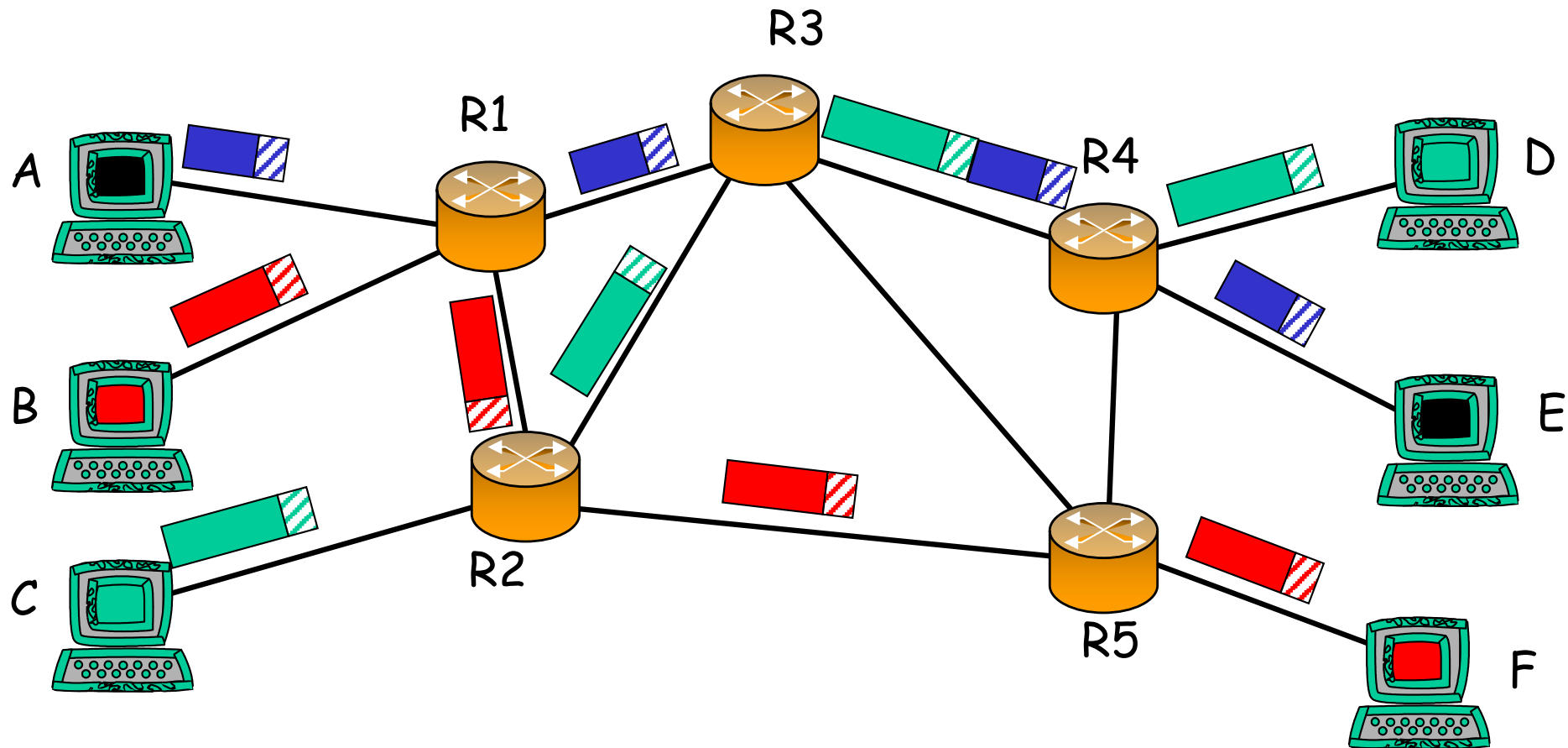




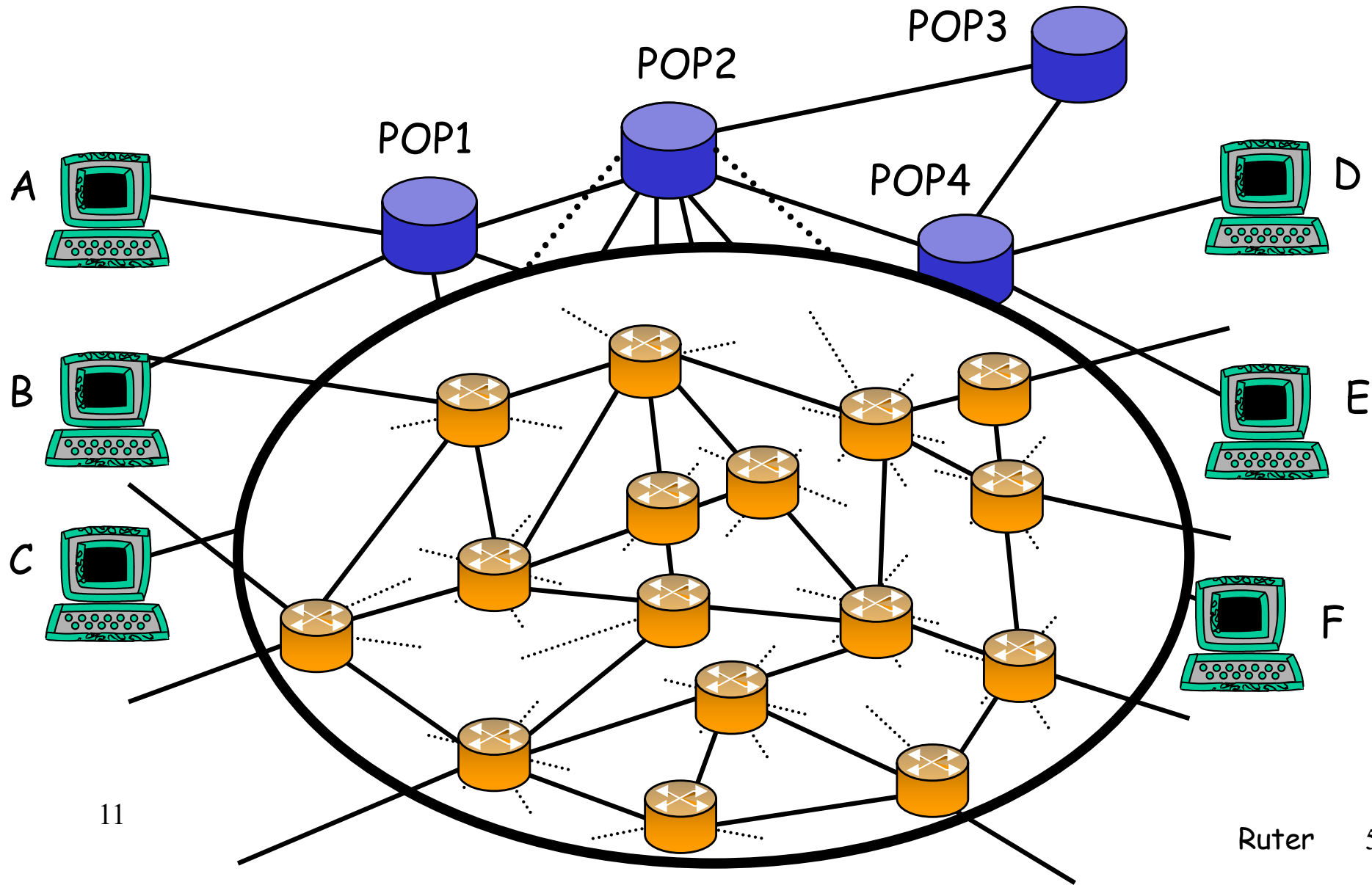
# Rutiranje



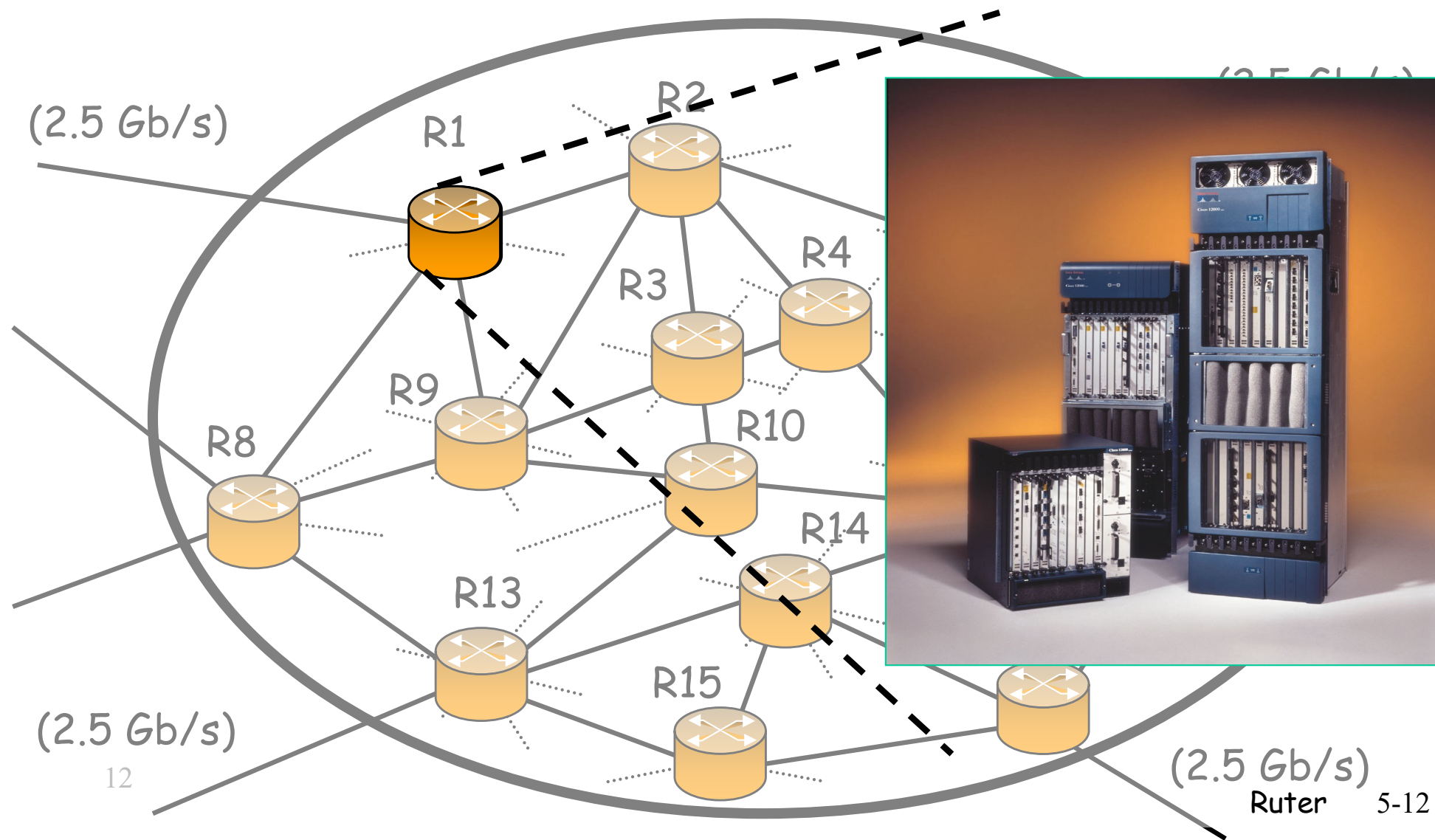
# Rutiranje



# Points of Presence (POPs)



# Gdje se koriste visoko-performantni ruteri?



# Funkcije rutera

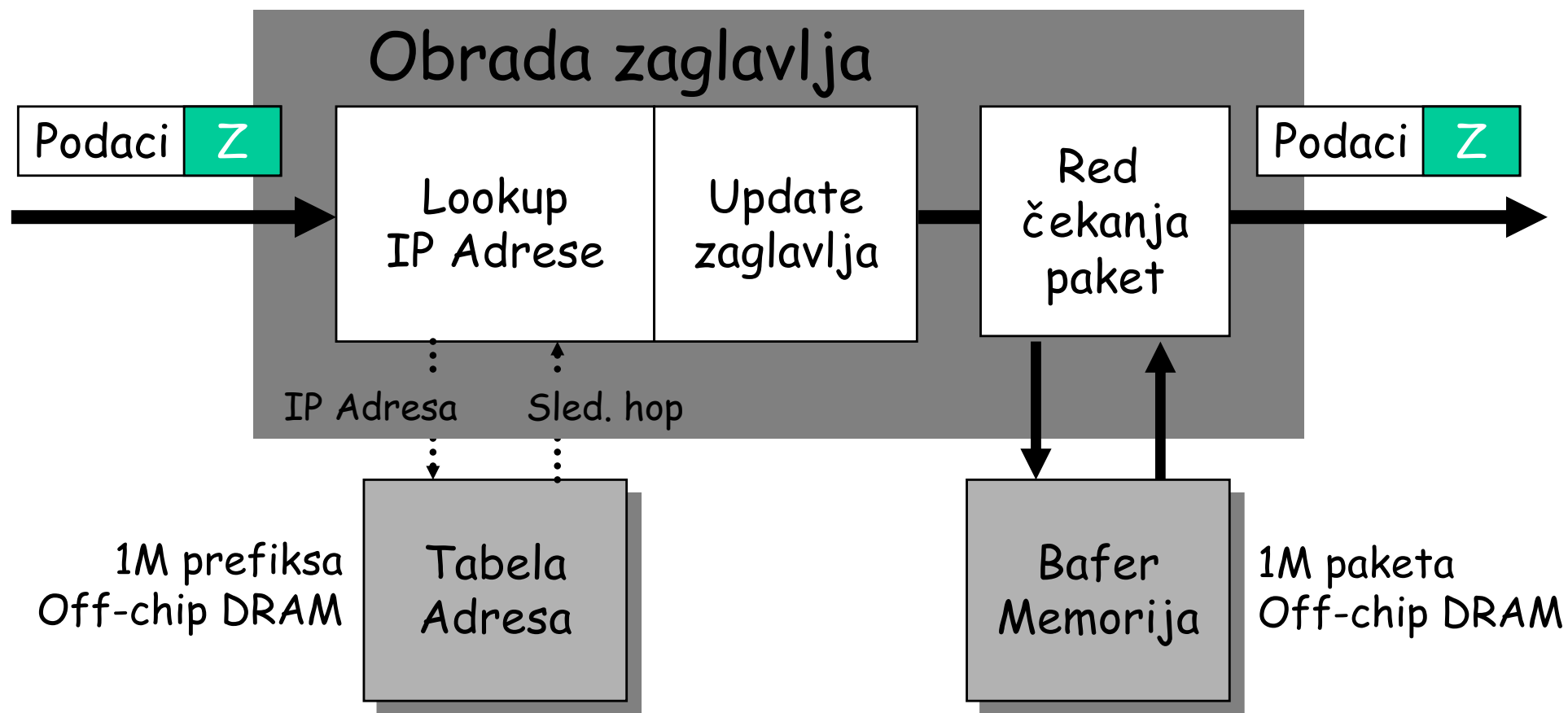


Lookup internet adresa

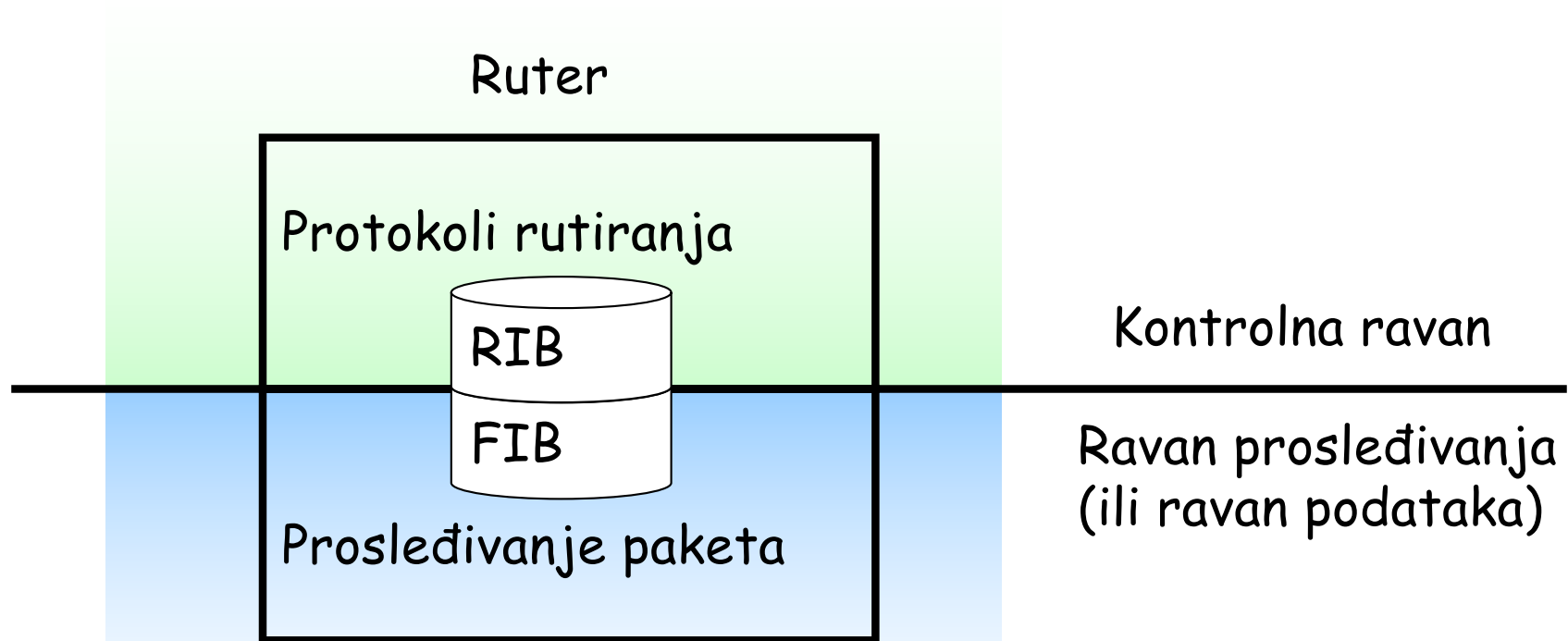
Provjera i ažuriranje  
vremena boravka na  
Internetu

Provjera i ažuriranje  
checksume

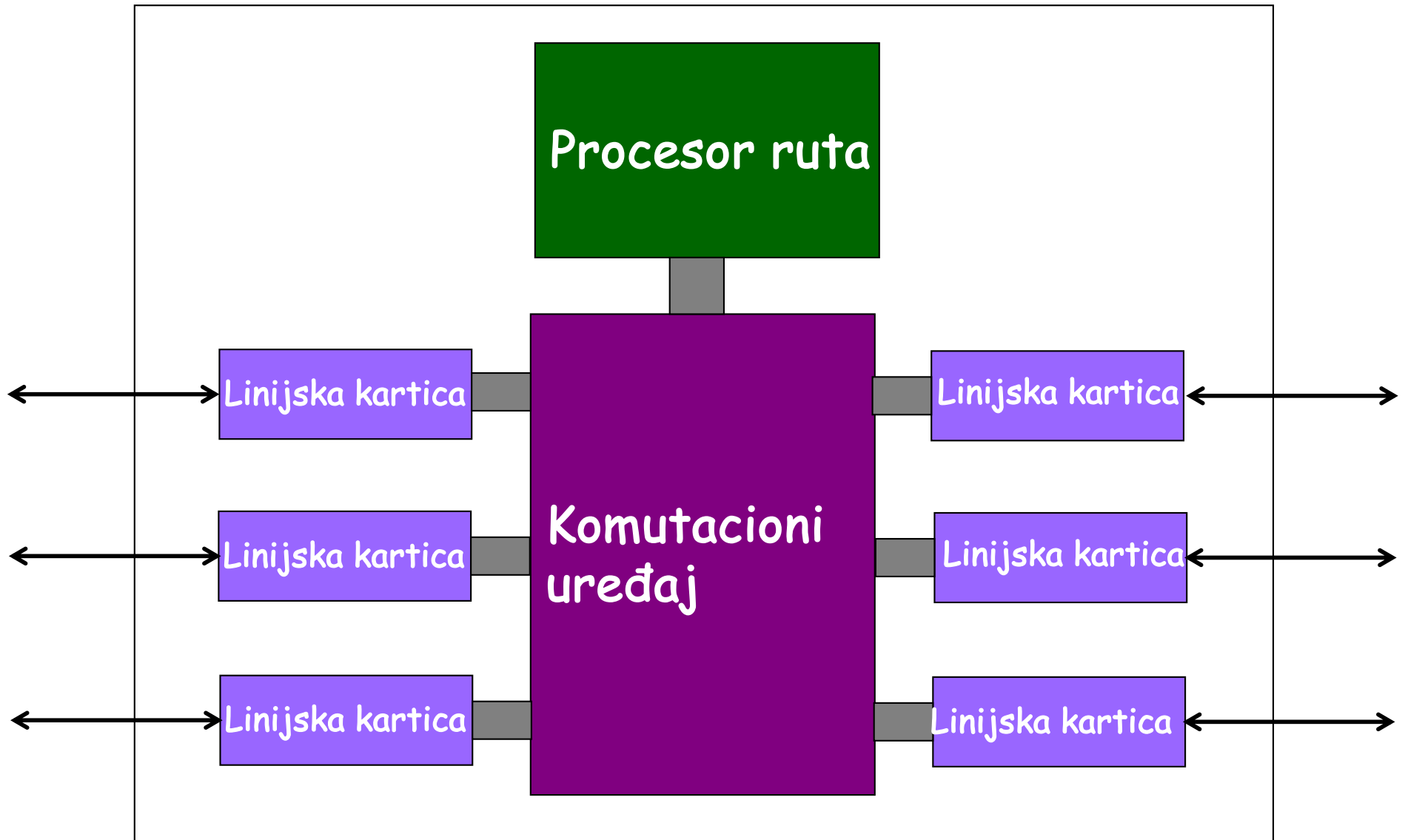
# Generička arhitektura rutera



# Fundamentalni dizajn rutera



# Struktura

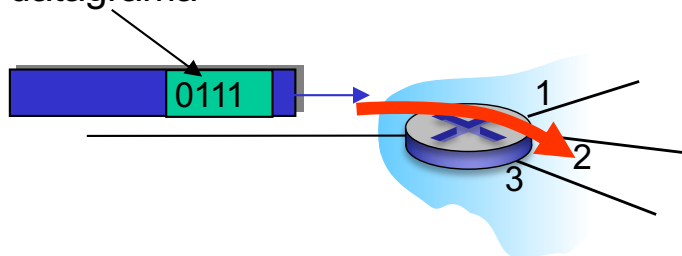




# Mrežni nivo: ravan podataka, ravan kontrole

## Ravan podataka

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

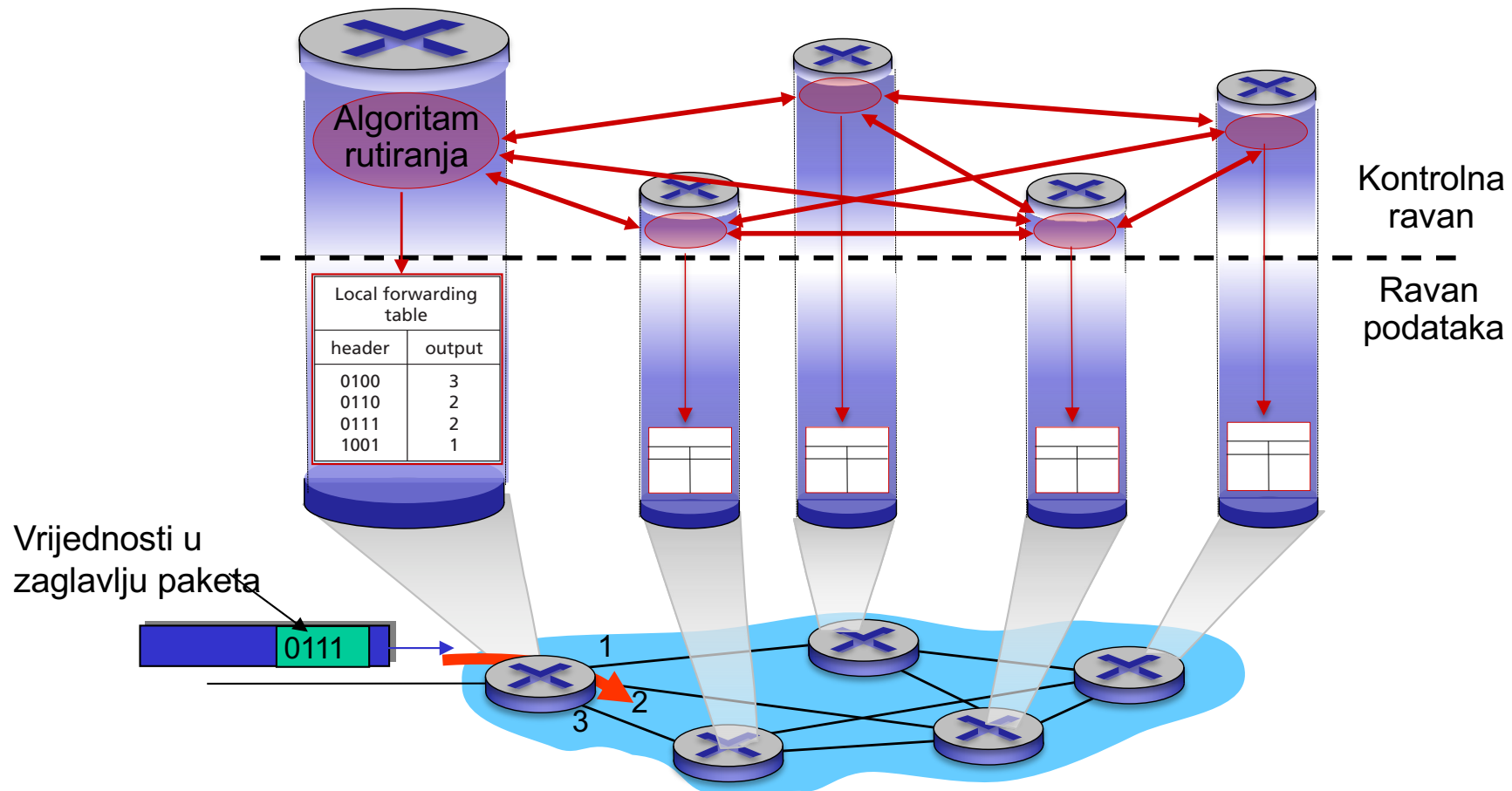


## Kontrolna ravan

- 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

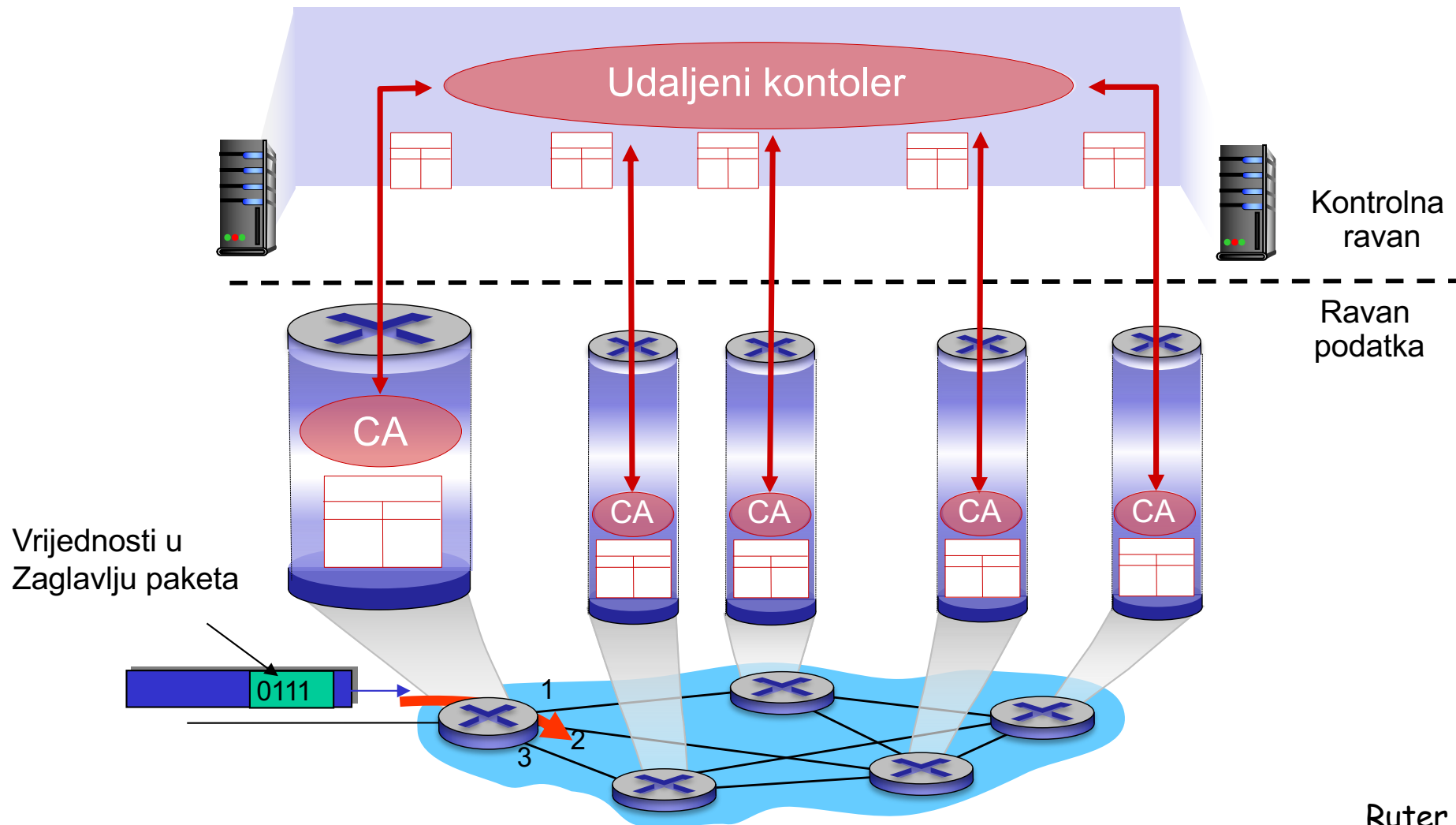
# Distribuirana kontrolna ravan

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

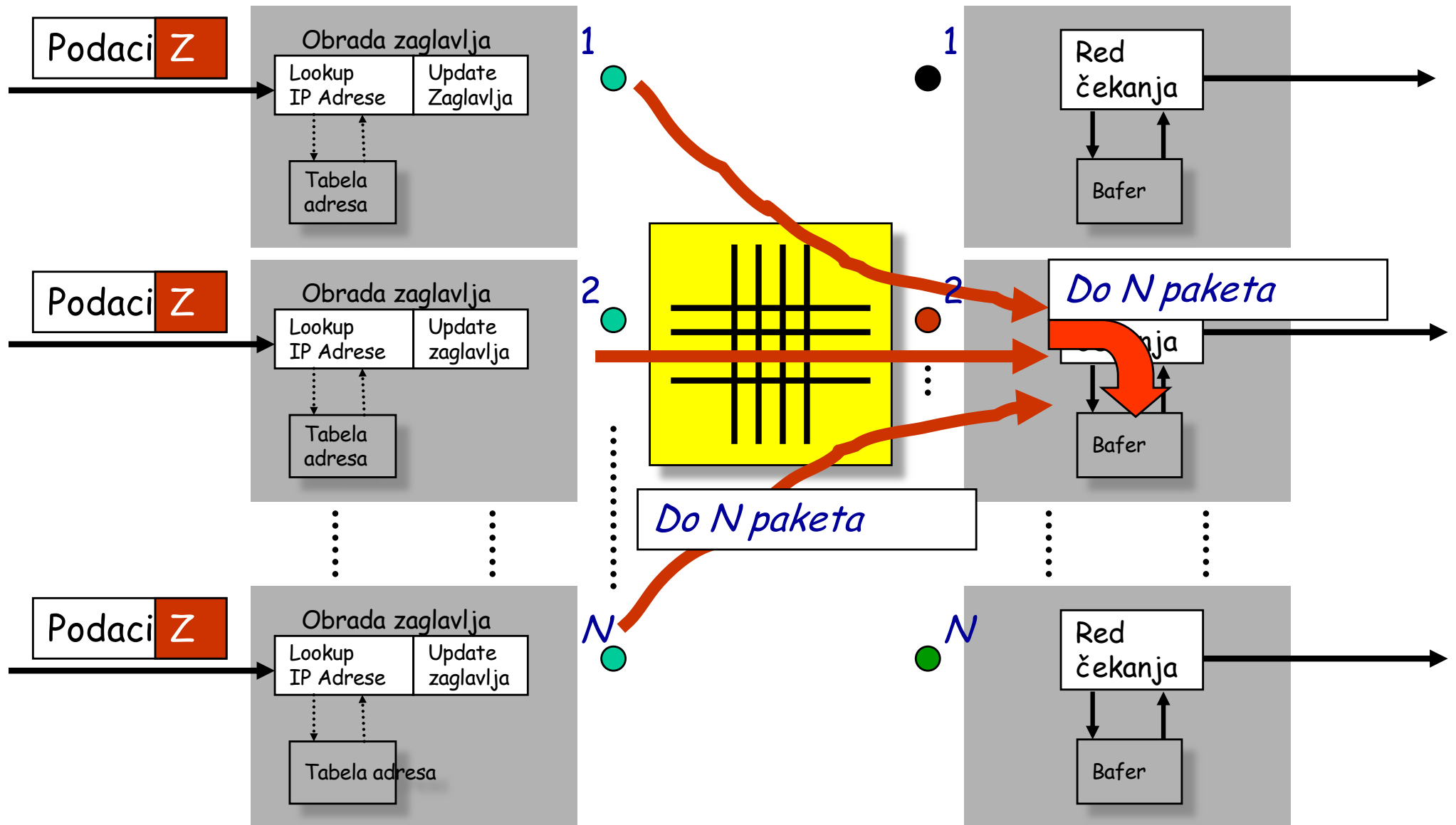


# Centralizovana kontrolna ravan

Udaljeni kontroler interaguje sa lokalnim kontrolnim agentima (CAs)



# Komutacioni uređaj



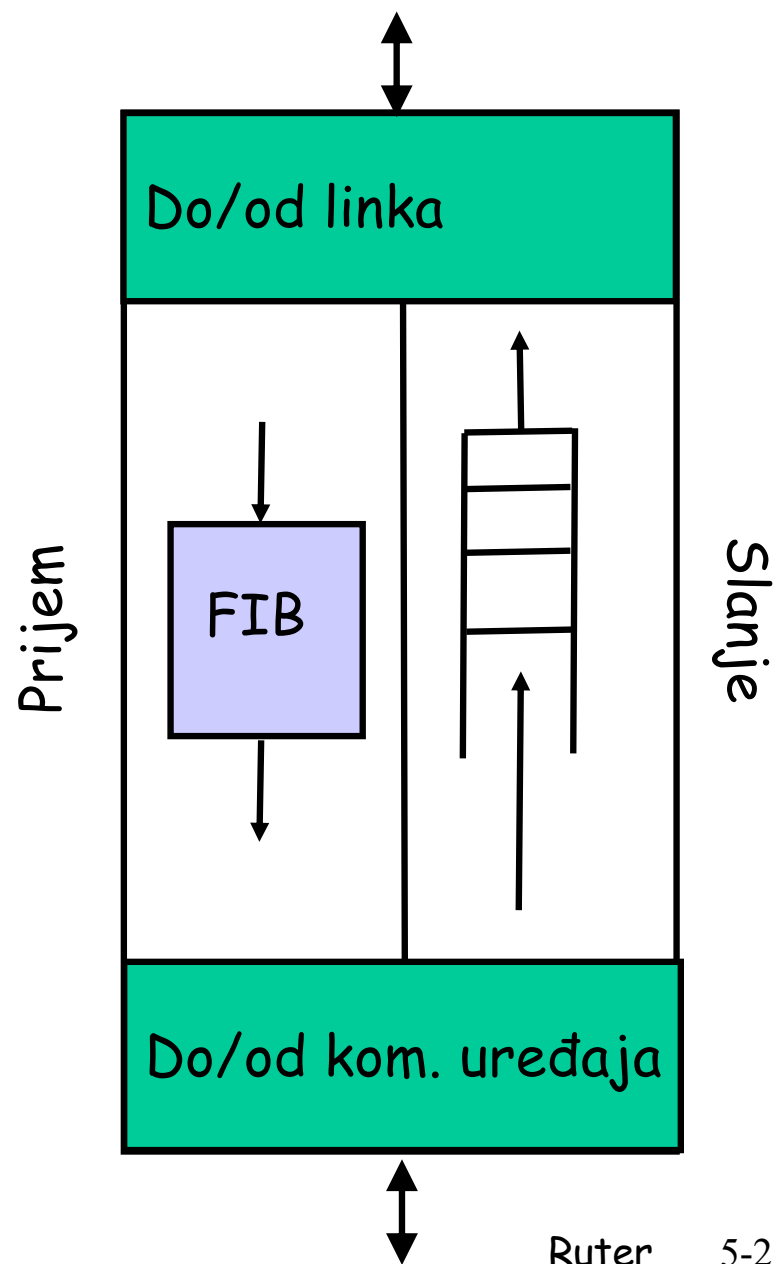
# Linijske kartice

## □ 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



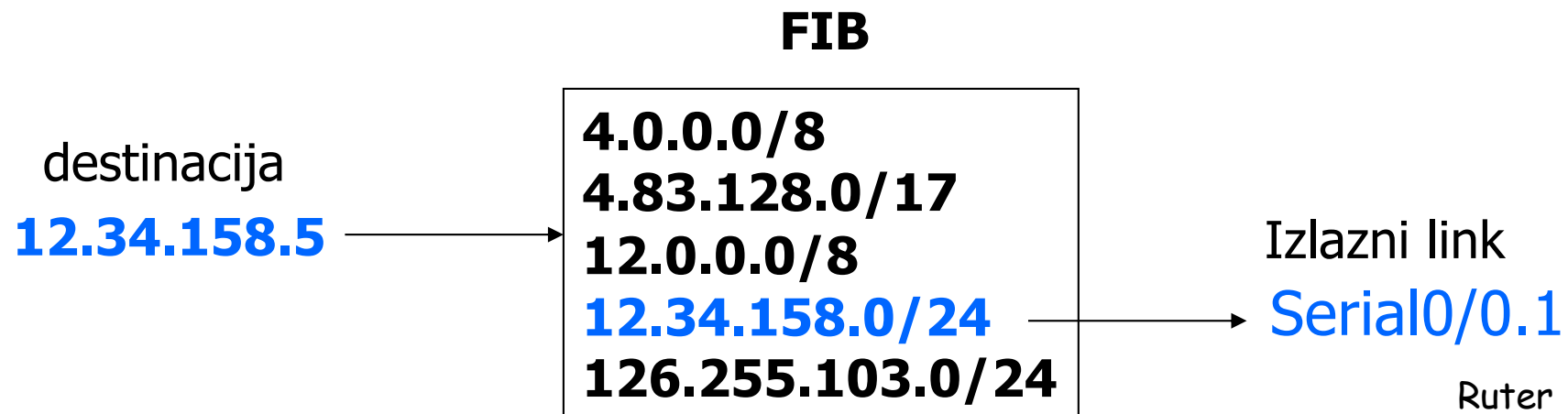
## Linijske kartice : Prosleđivanje saglasno najdužem prefiksu

### ❑ 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

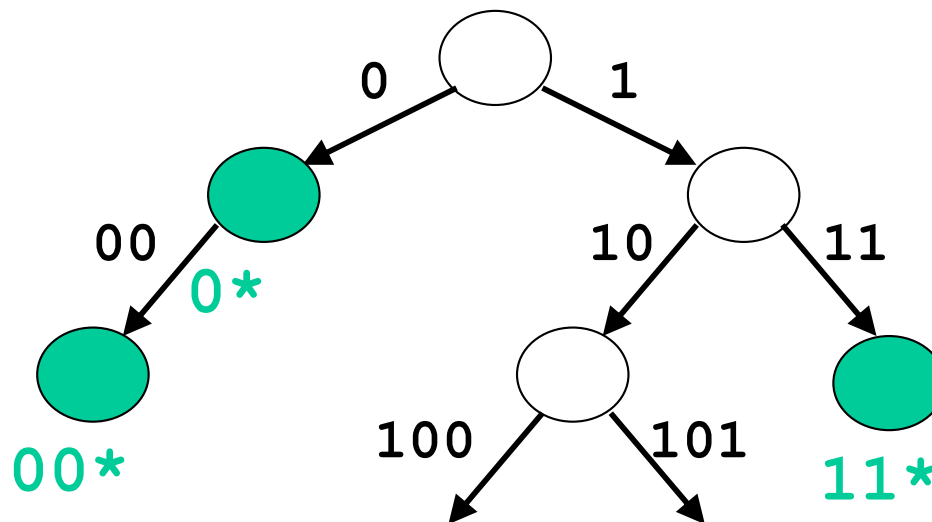


## Linijske kartice: Najjednostavniji algoritam je spor

- ❑ 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

# Linjske 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





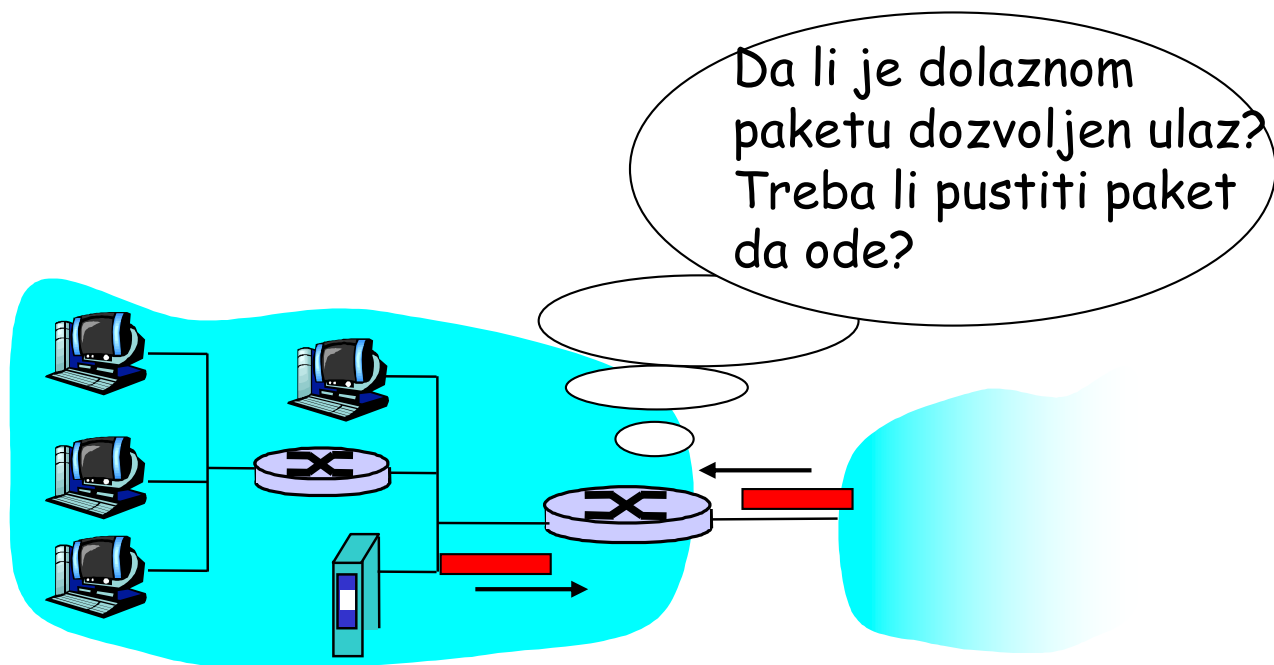
# Linijske kartice: Još brži lookup

- ❑ 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



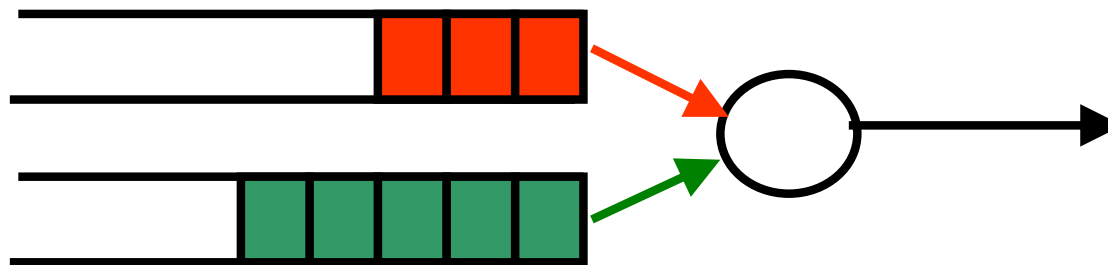
## Linijske kartice: scheduleri striktnih prioriteta

### □ 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



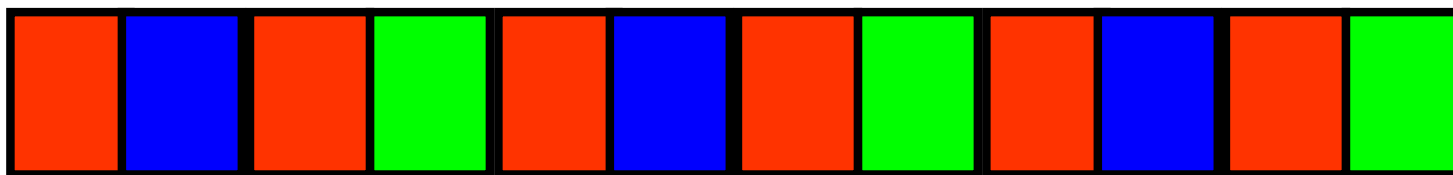
# Linijske kartice: težinski scheduleri

## □ 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
  - Iвица 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

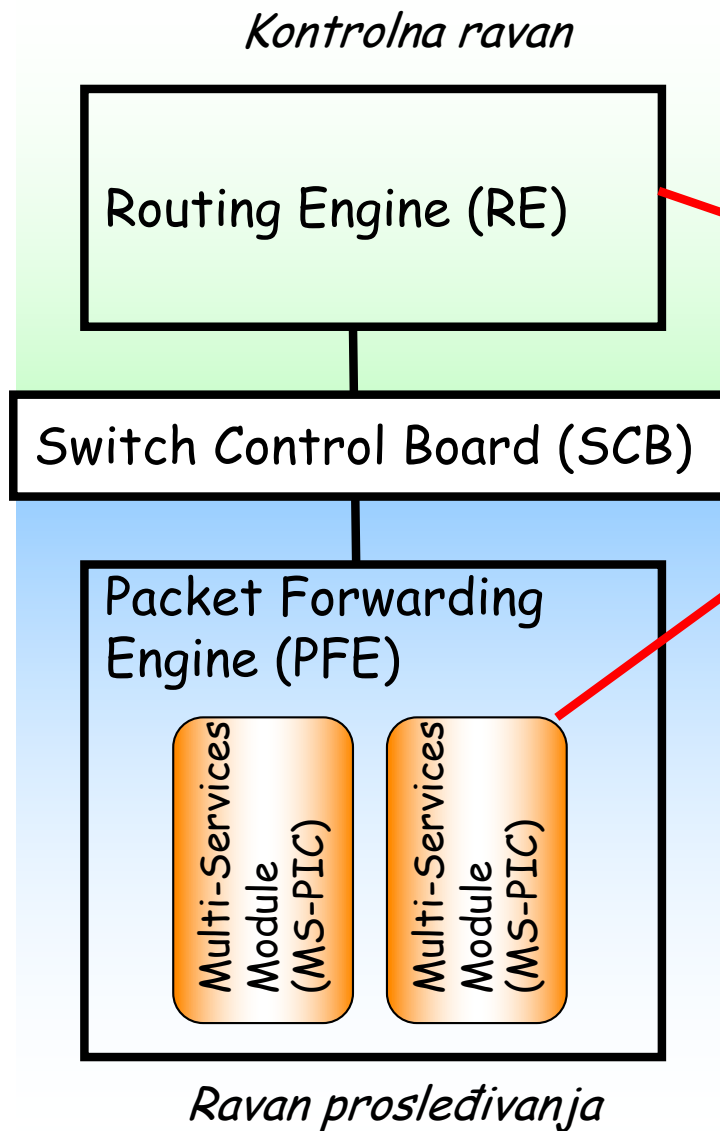
## Procesor ruta

- “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 mikro kod
- ❑ 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

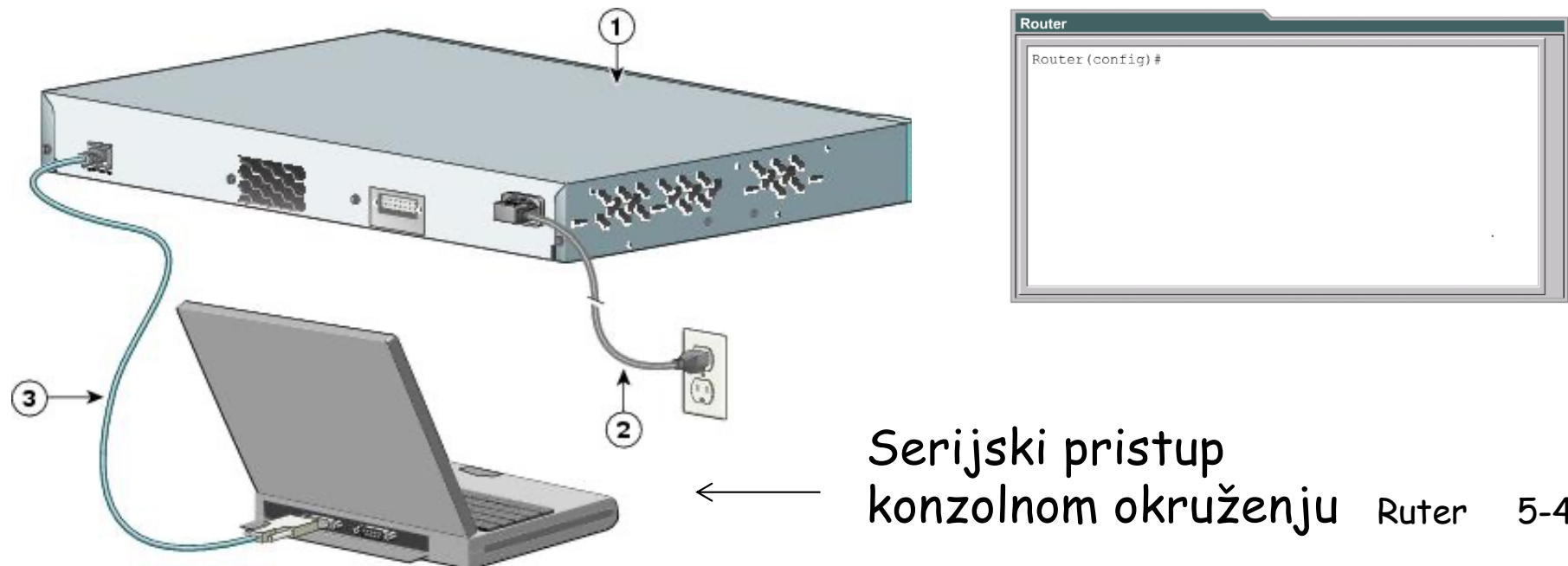
# Cisco IOS

- ❑ 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



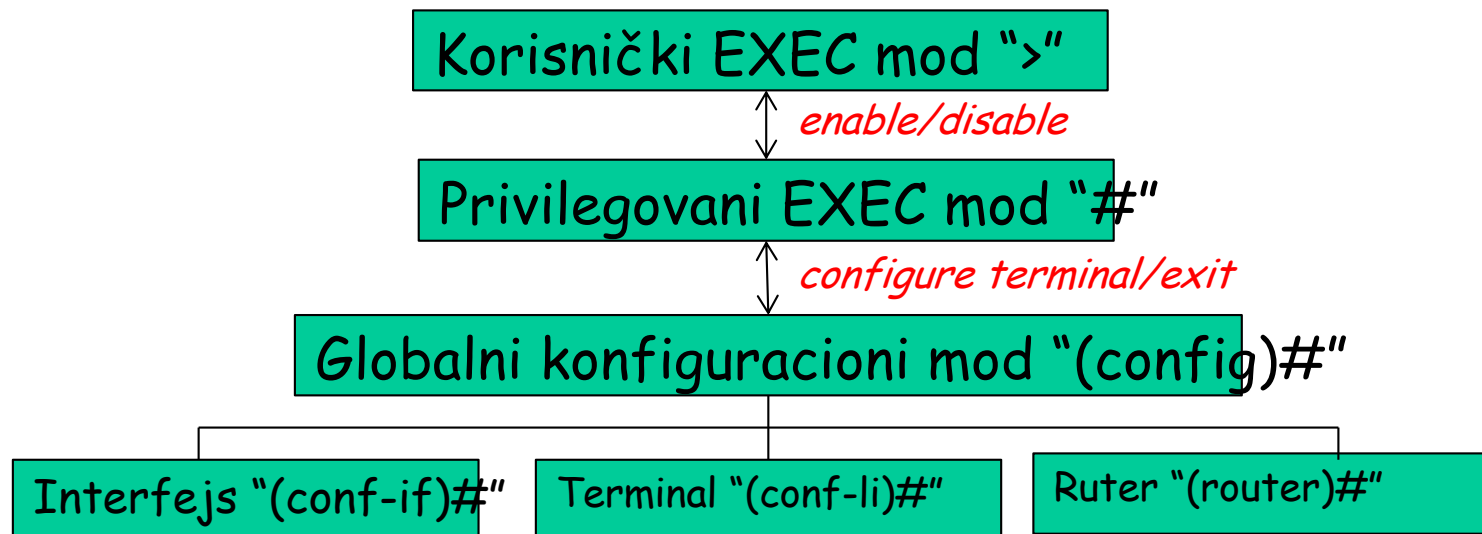
# Konfiguracija rutera - Pristupni modovi

- ❑ **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 '?'**

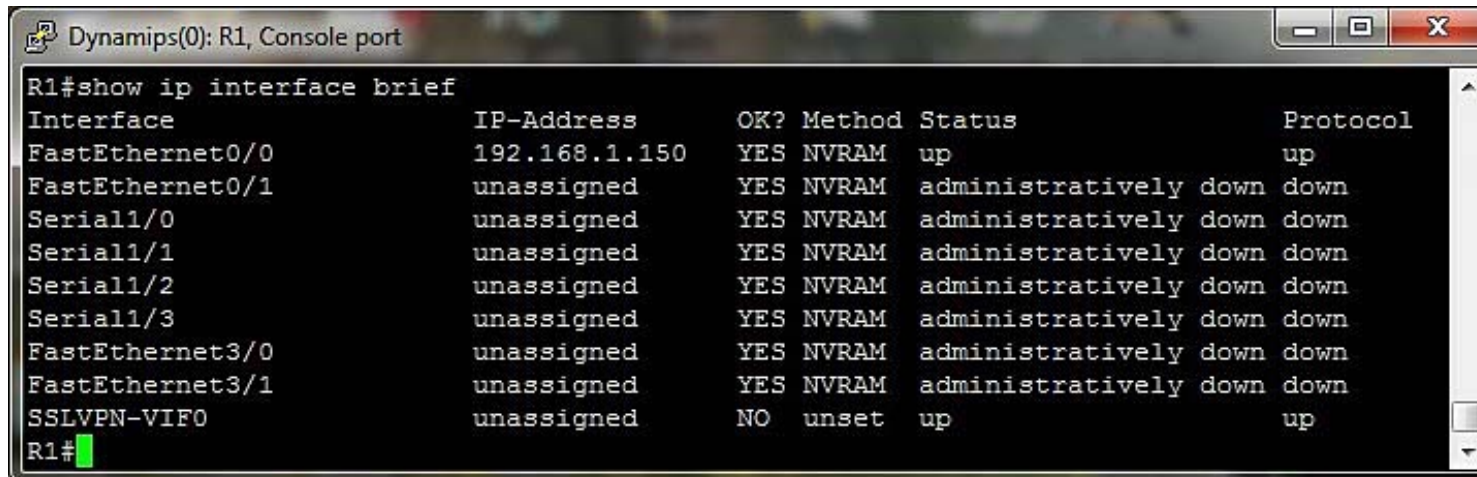
# Konfiguracioni modovi IOS-a

- 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