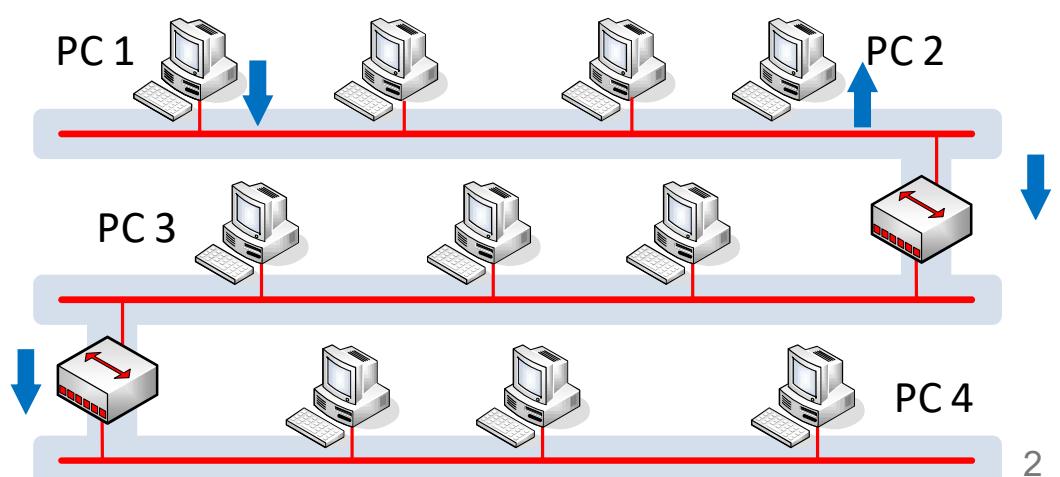


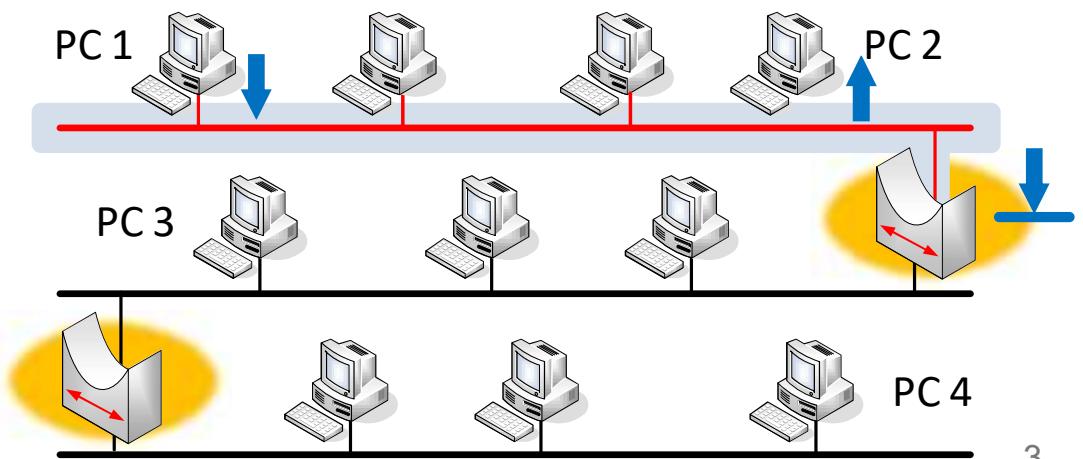
# Problem skalabilnosti

- Kolizioni domen:
  - Skup uređaja povezanih na zajednički deljeni medijuma
  - Svi poslati okviri dolaze do svih uređaja
  - Sva komunikacija unutar kolizacionog domena podložna je koliziji
- Ripiteri
  - L1 uređaji - rade na fizičkom nivou
  - Ne dele mrežu u odvojene kolizione domene
  - Povećavaju veličinu mrežnog segmenta
- Povećanjem broja učesnika
  - Povećava se verovatnoća da dođe do kolizije
  - Performanse mreže opadaju
  - Limit propusnog opsega
    - Ispod 20% ukupnog propusnog opsega



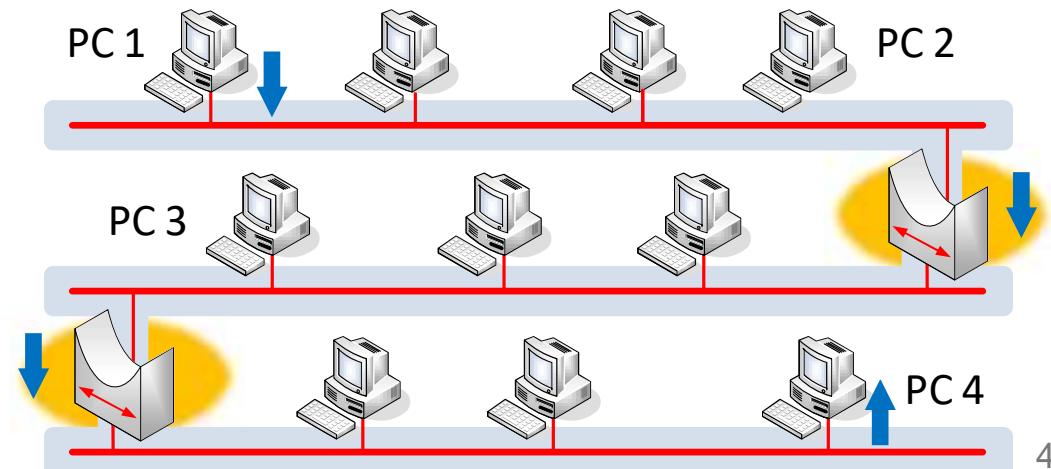
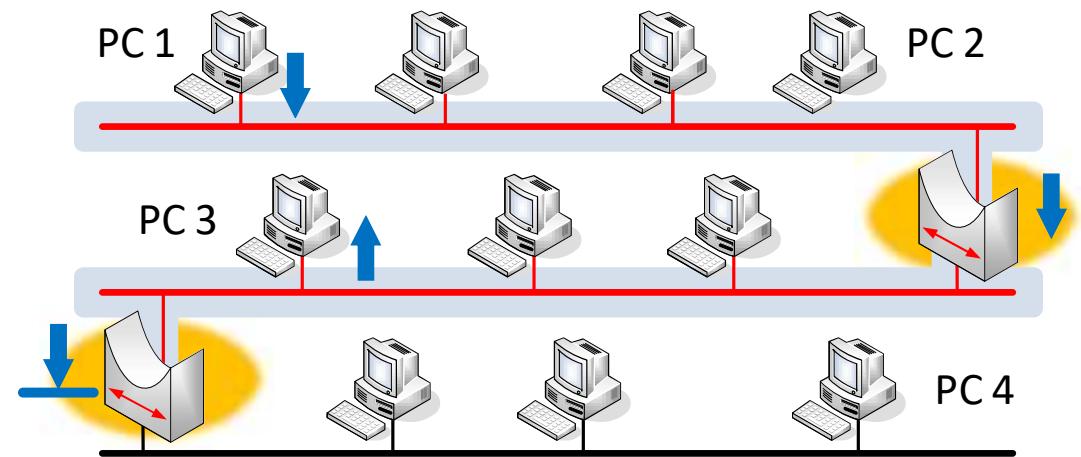
# Bridž

- Razdvaja LAN mrežu na više kolizionih domena
  - Portovi bridža pripadaju različitim kolizionim domenima
  - Blokira pakete ako je odredište na istoj strani bridža (u istom kolizionom domenu kao i izvorište)



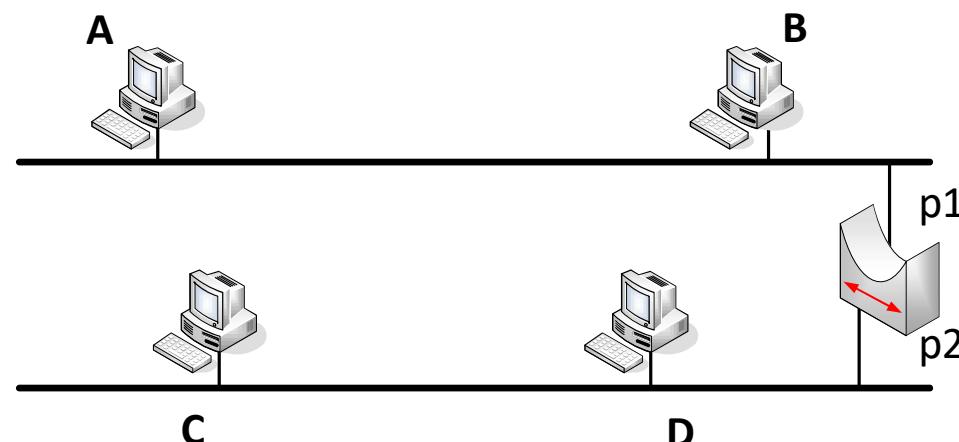
# Bridž

- Razdvaja LAN mrežu na više kolizionih domena
  - Propušta pakete samo kada je odredište na drugoj strani bridža (u drugom kolizionom domenu)



# Princip rada bridža

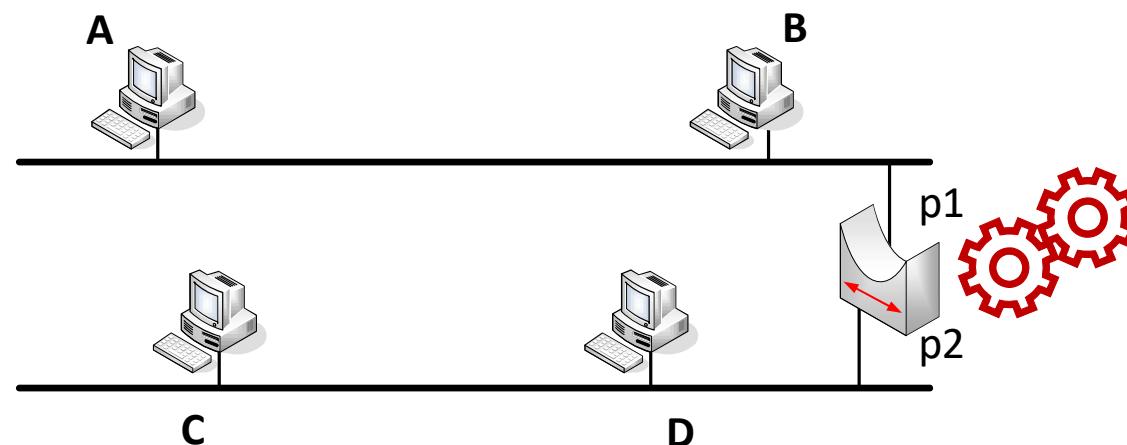
- Transparentni bridžing – definisan standardom IEEE 802.1d
  - “Transparentno”
    - Hostovi ne znaju za postojanje bridževa
    - Ne zahteva se konfiguracija hostova pri povezivanju na svičeve
  - Svaki bridž ima bridžing tabelu
    - MAC adresa hosta
    - Identifikacija porta - na kojoj strani se nalazi upareni host
  - Na osnovu bridžing tabele bridž zna koji se host nalazi na kom segmentu



MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
BBBB.2222.3333	p1
CCCC.4444.5555	p2
DDDD.6666.7777	p2

# Princip rada bridža

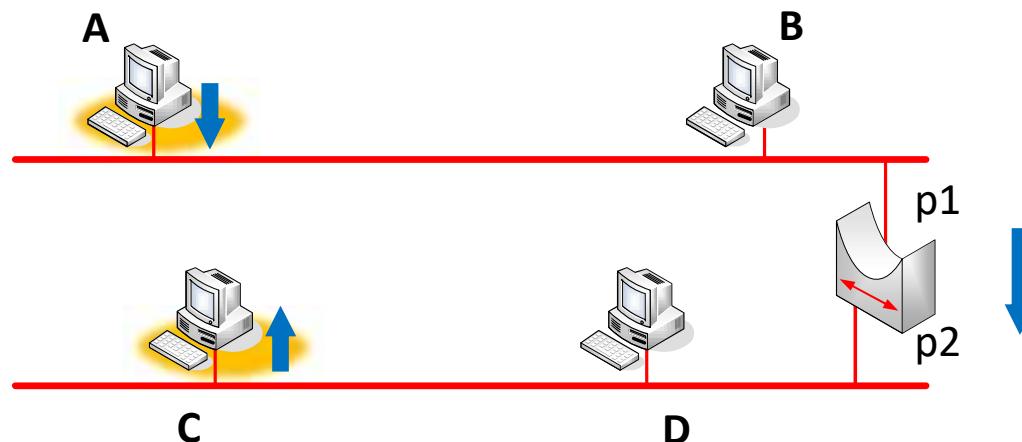
- Pet procesa bridžinga:
  - *Forwarding*
  - *Filtering*
  - *Learning*
  - *Flooding*
  - *Aging*



MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
BBBB.2222.3333	p1
CCCC.4444.5555	p2
DDDD.6666.7777	p2

# Forwarding

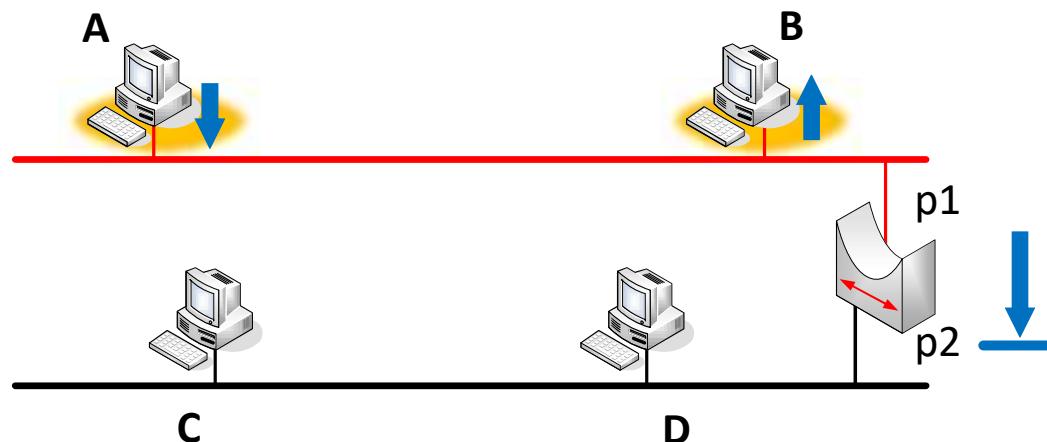
- Prosleđivanje okvira
  - Izvođeni i odredišni uređaji su na različitim segmentima
  - Okvir treba da se prosledi na odgovarajući port prema odredištu
- Proces
  - Prima se okvir na jednom portu (ulazni port)
  - Gleda se **odredišna MAC adresa** iz zaglavlja okvira
  - Nađena je odredišna MAC adresa u bridžing tabeli
  - **Uslov - odredišna MAC adresa nije uparena sa ulaznim portom**
- Rezultat
  - Okvir se propušta (prosleđuje)
  - Odredišni uređaj prima okvir



MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
BBBB.2222.3333	p1
CCCC.4444.5555	p2
DDDD.6666.7777	p2

# Filtering

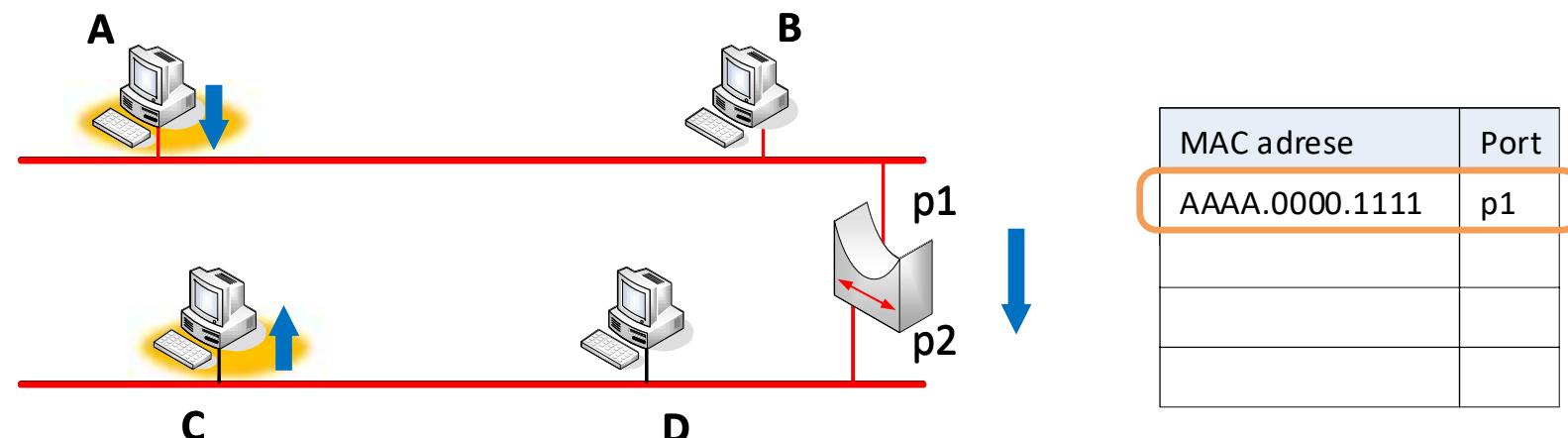
- Filtriranje okvira
  - Izvorišni i odredišni uređaji su na istom segmentu
  - Okvir treba da se filtrira, jer će ga odredište primiti nezavisno od bridža
- Proces
  - Prima se okvir na jednom portu (ulazni port)
  - Gleda se **odredišna MAC adresa** iz zaglavlja okvira
  - Nađena je odredišna MAC adresa u bridžing tabeli
  - **Uslov - odredišna MAC adresa je uparena sa ulaznim portom**
- Rezultat
  - Okvir se ne propušta (filtrira) - uništava se
  - Odredišni uređaj je primio okvir nezavisno od bridža



MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
BBBB.2222.3333	p1
CCCC.4444.5555	p2
DDDD.6666.7777	p2

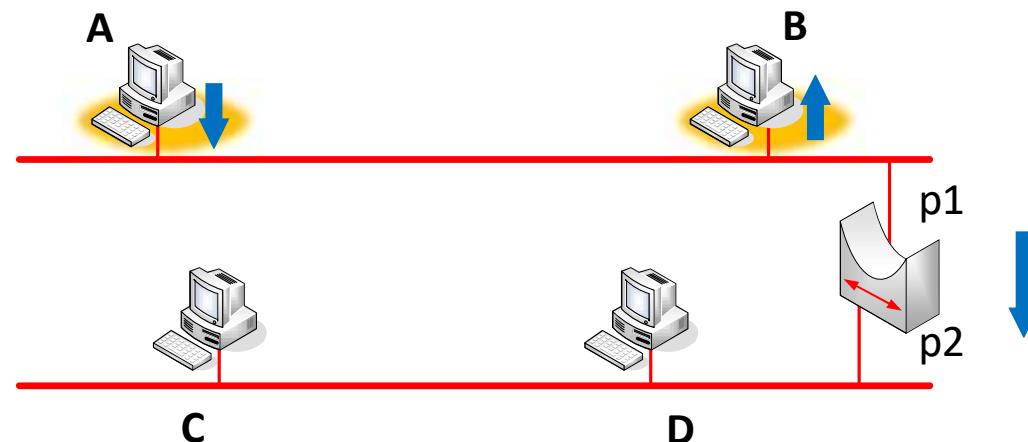
# Learning

- Učenje – bridž saznaće na kom portu se nalaze pojedine MAC adrese
  - Početno stanje po uključenju bridža - bridžing tabela je prazna
  - Uređaji generišu saobraćaj i šalju okvire na mrežu
- Proces
  - Prima se okvir na jednom portu (ulazni port)
  - Gleda se **izvorišna** MAC adresa iz zaglavlja okvira
  - **Iзворишна MAC adresa са улазним portom se upisuje u bridžing tabelu**
- Rezultat
  - Popunjava se bridžing tabela (i za filtriranje i za prosleđivanje)
  - Transparentno – za uređaje u LAN mreži bridževi su „nevidljivi“



# Flooding

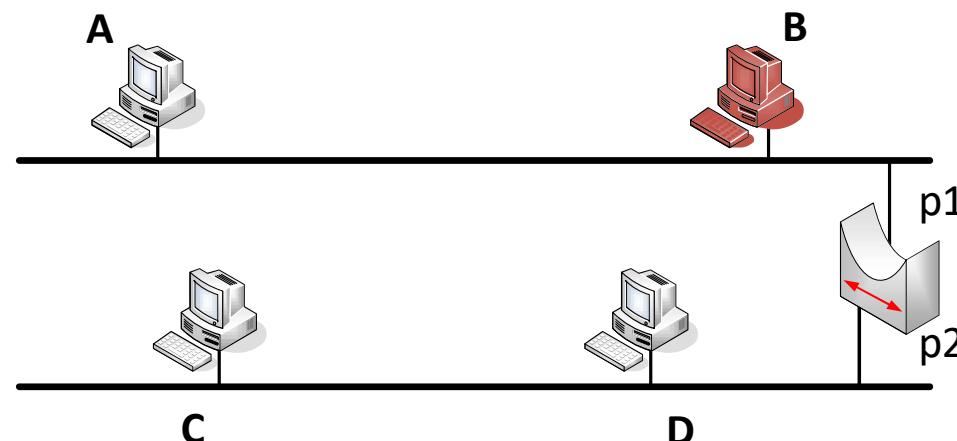
- Odredišna MAC adresa iz zaglavlja okvira ne nalazi se u bridžing tabeli
  - Bridž ne zna da li da propusti okvir
- Proces
  - Prima se okvir na jednom portu (ulazni port)
  - Gleda se **odredišna** MAC adresa iz zaglavlja okvira
  - Nije nađena odredišna MAC adresa u bridžing tabeli
  - Okvir se prosleđuje ostale portove bridža, ali ne i na prijemni port
- Rezultat
  - Okvir se propušta (prosleđuje), čak iako ne treba
  - Odredišni uređaj će svakako da primi okvir, bilo da je na istoj strani bridža ili ne



MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1

# Aging

- Tajmer za svaki red u tabeli – resetuje se pri *Learning* procesu
- Ukoliko sa određene MAC adrese nema saobraćaja neko vreme (tipično 2 minuta)
  - Odgovarajući red iz tabele se briše
- Potreba
  - Zaštita od popunjavanja bridžing tabele
  - Zaštita od pojave netačnih podataka ukoliko se neki uređaj premešta sa jednog na drugi port bridža



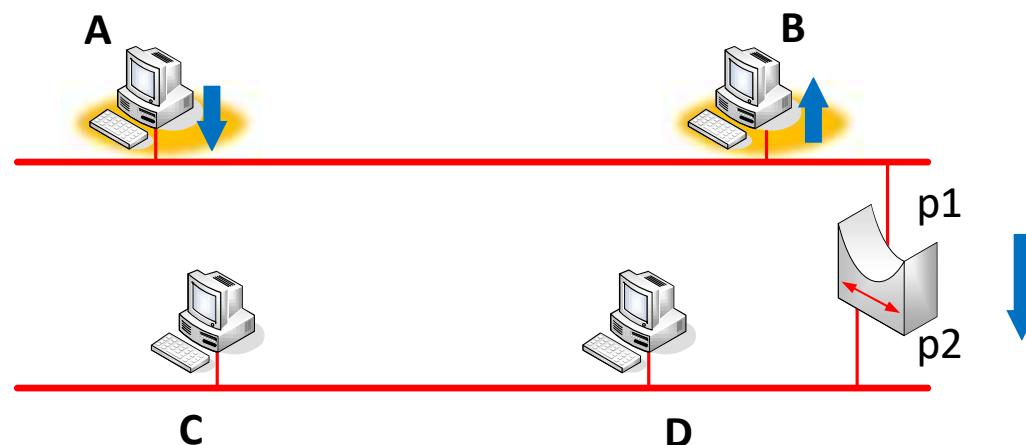
MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
<del>BBBB.2222.3333</del>	<del>p1</del>
CCCC.4444.5555	p2
DDDD.6666.7777	p2



# Primer rada bridža

**A ==> B**

- Tabela prazna
- A šalje okvir za B
- Adresa A se upisuje u tabelu, port 1 (*learning*)
- Adresa B nije u tabeli, bridž ne zna na kom portu je B
- Bridž prosleđuje okvir na ostale portove (*flooding*)

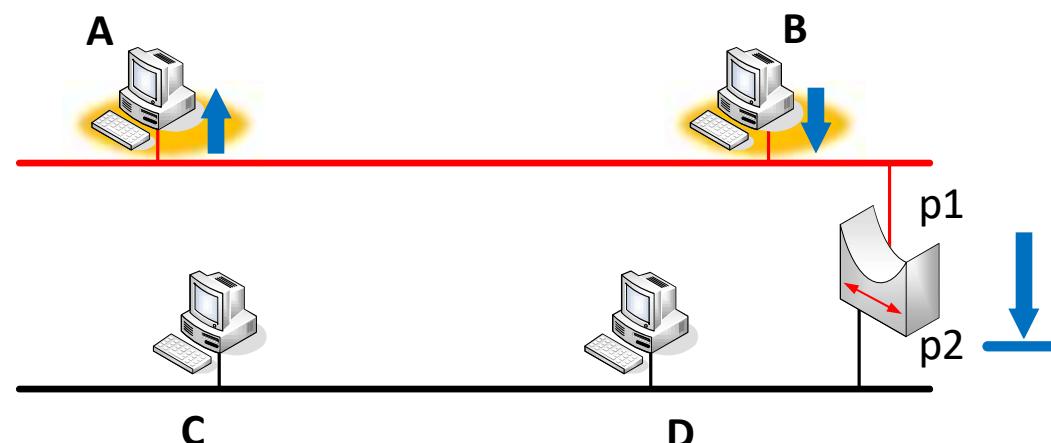


MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1

# Primer rada bridža

B ==>A

- Samo B odgovara na *flooding*
- B šalje odgovor za A, koji stiže i na port 1 bridža
- Adresa B se upisuje u tabelu, port 1 (*learning*)
- Adresa A je u tabeli, pridružena portu 1
- Bridž zaključuje da su A i B na istom segmentu
- Okvir se ne prosleđuje na drugi port (*filtering*)
- A prima okvir

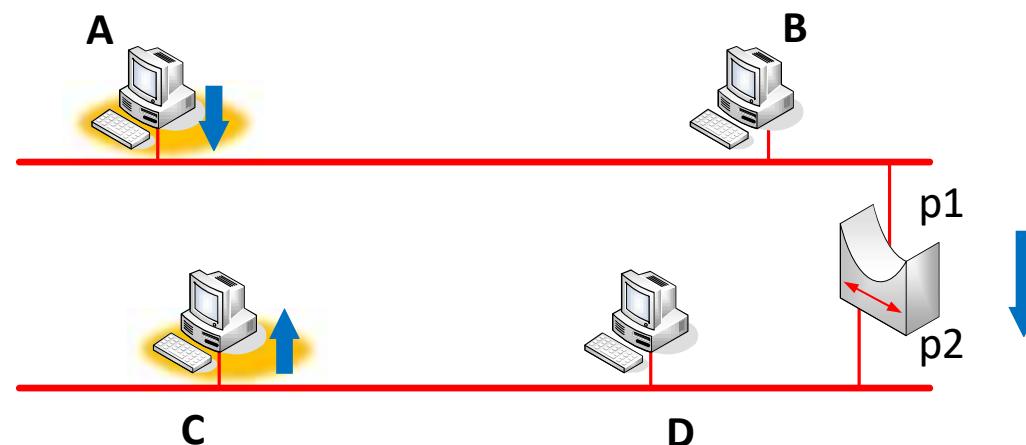


MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
BBBB.2222.3333	p1

# Primer rada bridža

**A ==> C**

- A šalje paket za C
- Adresa C nije u tabeli, bridž ne zna na kom je portu C
- Bridž prosleđuje okvir na ostale portove (*flooding*)

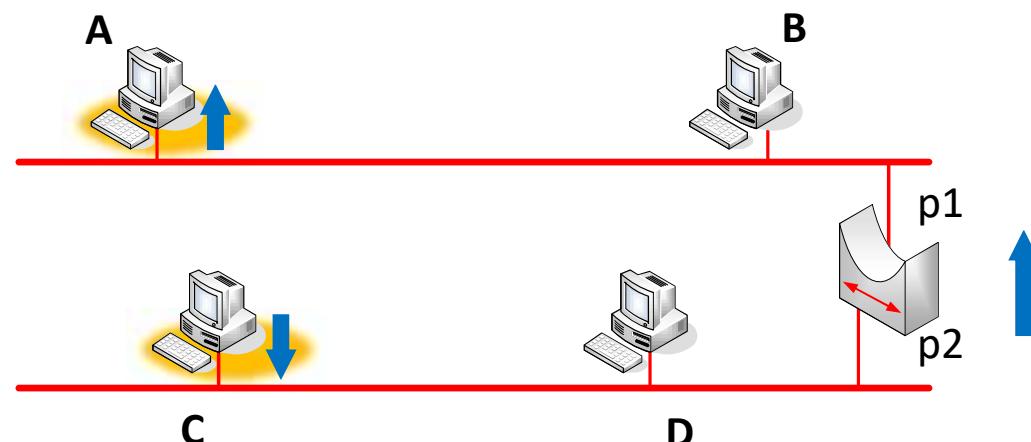


MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
BBBB.2222.3333	p1

# Primer rada bridža

C ==> A

- Samo C odgovara na *flooding*
- C šalje paket (odgovor) za A
- Adresa C se upisuje u tabelu, pridružena portu 2 (*learning*)
- Adresa A je u tabeli, pridružena portu 1
- Bridž prosleđuje okvir na port 1 za A (*forwarding*)
- A prima okvir

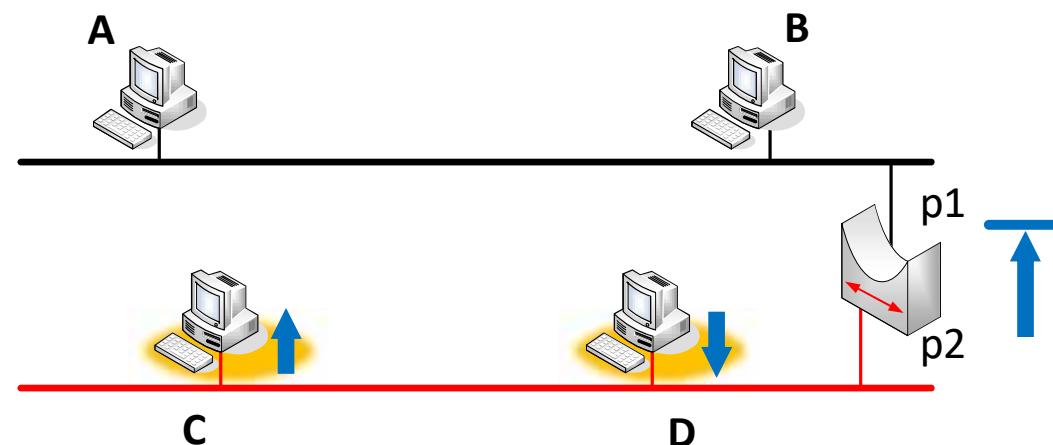


MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
BBBB.2222.3333	p1
CCCC.4444.5555	p2

# Primer rada bridža

D ==> C

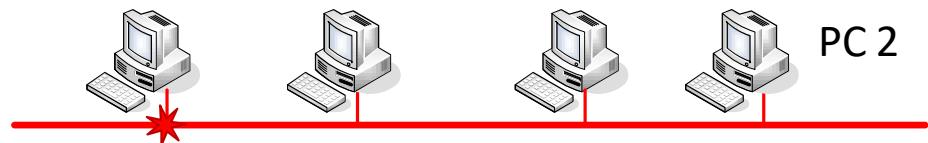
- D šalje okvir za C
- Adresa C u tabeli, bridž zna da je C na portu 2
- Adresa D se upisuje u tabelu, pridružena portu 2 (*learning*)
- Bridž zaključuje da su D i C na istom segmentu
- okvir se ne prosleđuje (*filtering*)
- C prima okvir



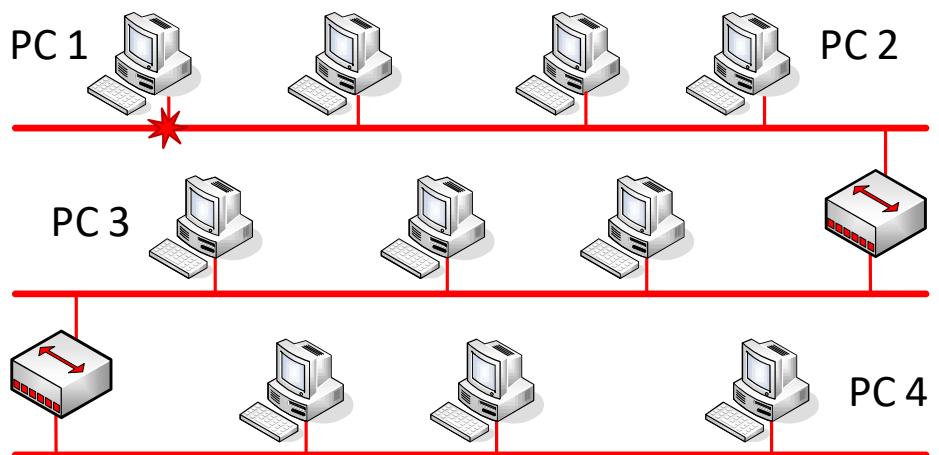
MAC adrese	Port
AAAA.0000.1111	p1
BBBB.2222.3333	p1
CCCC.4444.5555	p2
DDDD.6666.7777	p2

# Problem sa koaksijalnim kablovima

- Greška na koaksijalnom kablu ili samo jednom konektoru
  - Narušene elektro-magnetne karakteristike celog kabla
  - Svi okviri su oštećeni
  - Prekid cele mreže
  - Otežano lociranje greške

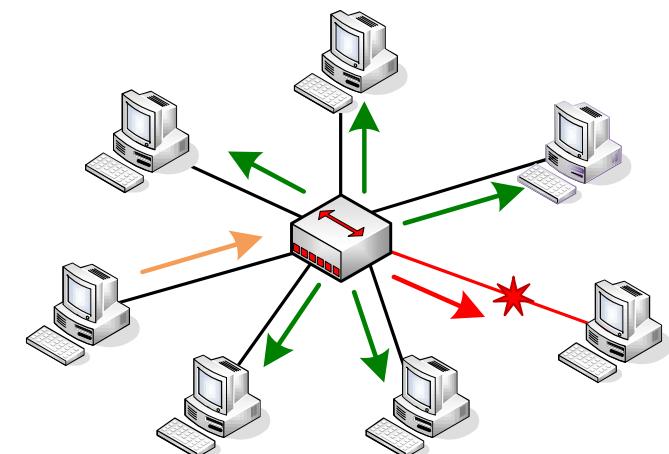
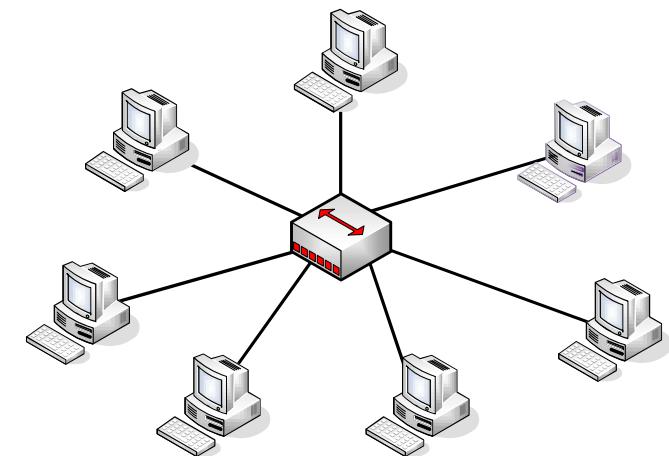


- Problem se javlja i na drugim segmentima koji su povezani preko ripitera



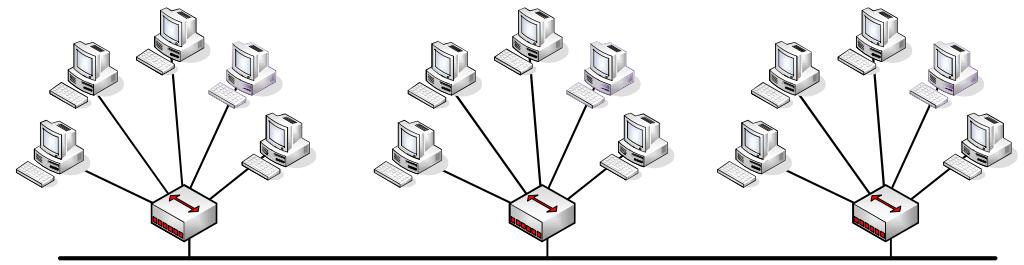
# Habovi

- Motiv
  - Otpornost na otkaze
- Rešenje
  - Zvezdasta topologija
- **Hab (Hub)**
  - Središnji uređaj u zvezdastoј topologiji
  - Višeportni ripiter za UTP kablove
    - Okvir primljen na jednom portu se regeneriše i reemituje na sve izlazne portove
    - Isti kolizioni domen kao koaksijalni kabl
    - Oštećene na jednom kablu ili konektoru je lokalizovano
- IEEE 802.3 – 10BASE-T
  - Ista Ethernet funkcionalnost i format okvira
  - UTP kablovi – *Unshielded Twisted Pairs*
    - do 100 m

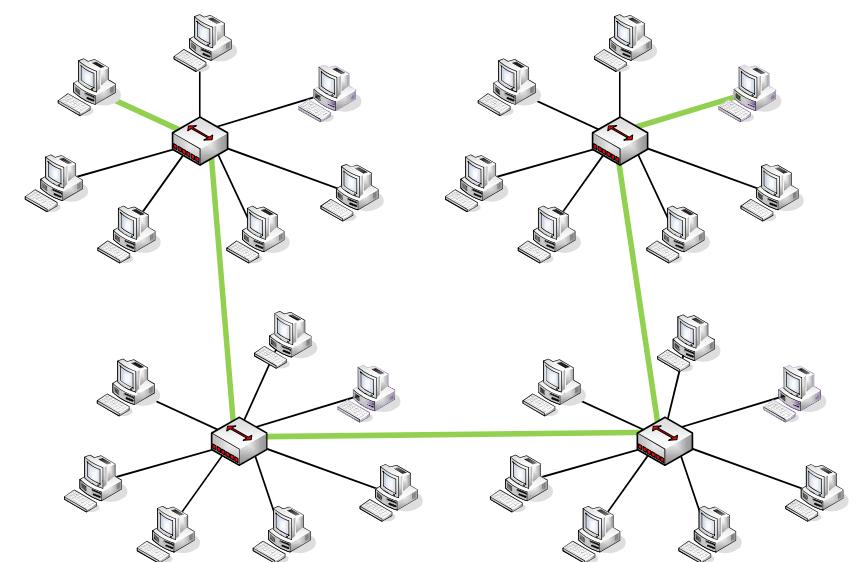


# Povezivanje habova

- Povezivanje preko koaksijanog kabla

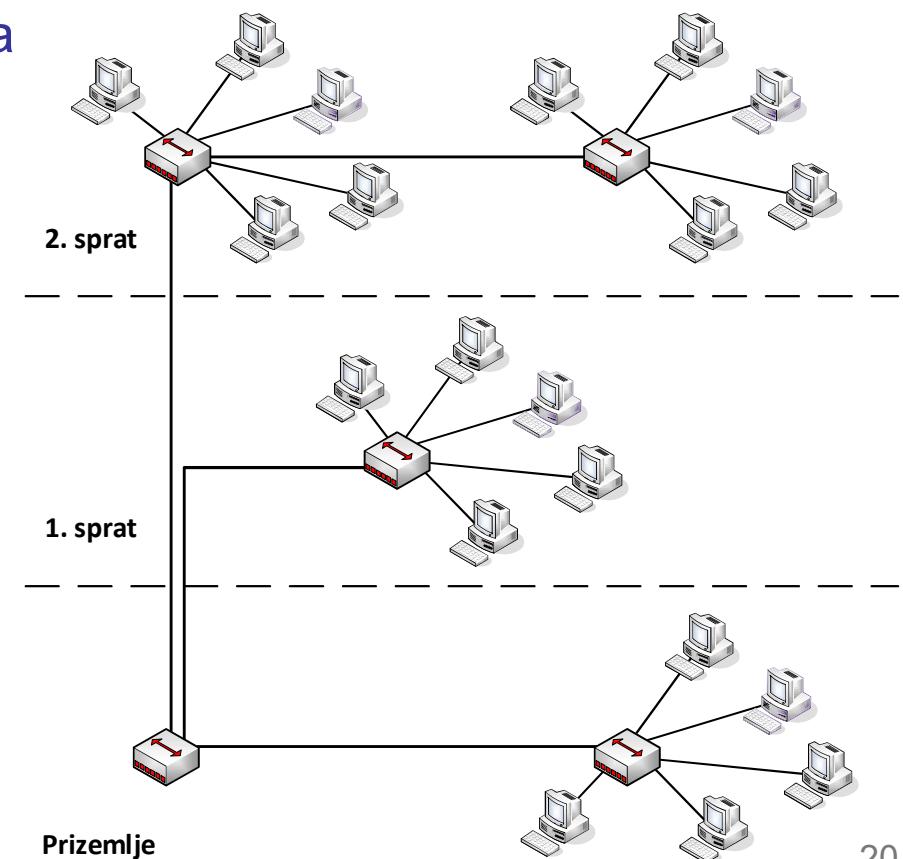


- Kaskadno povezivanje
  - Do 4 haba u nizu
  - Maksimalno rastojanje – 5x100m



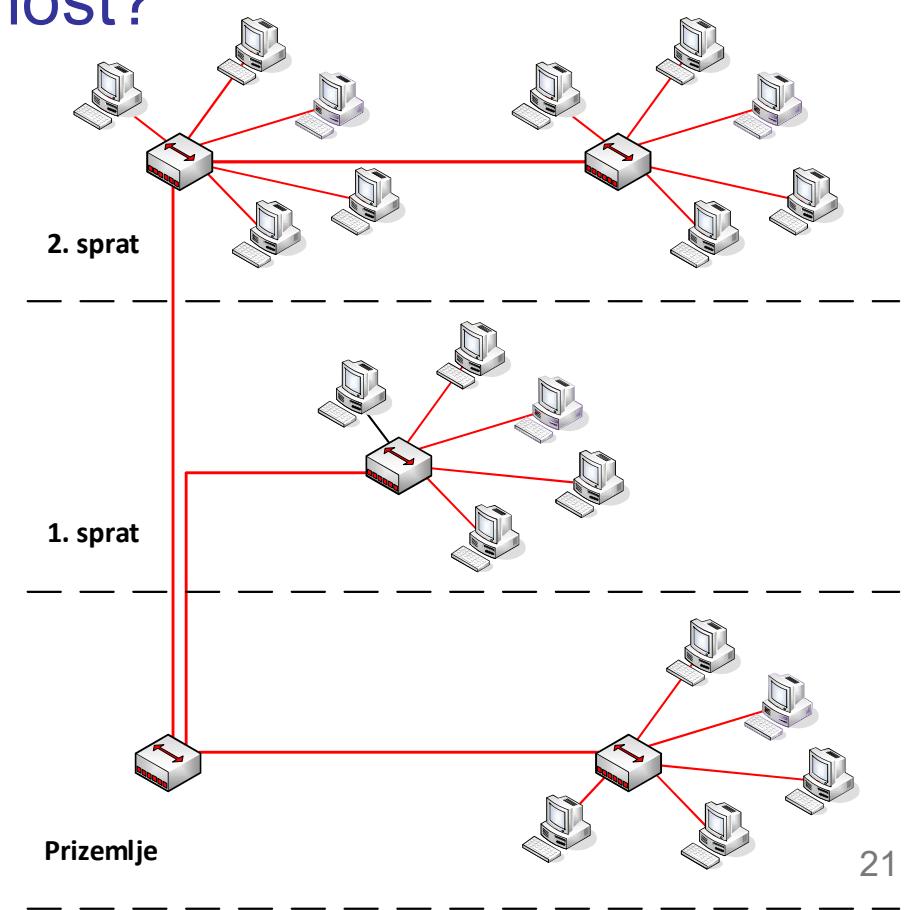
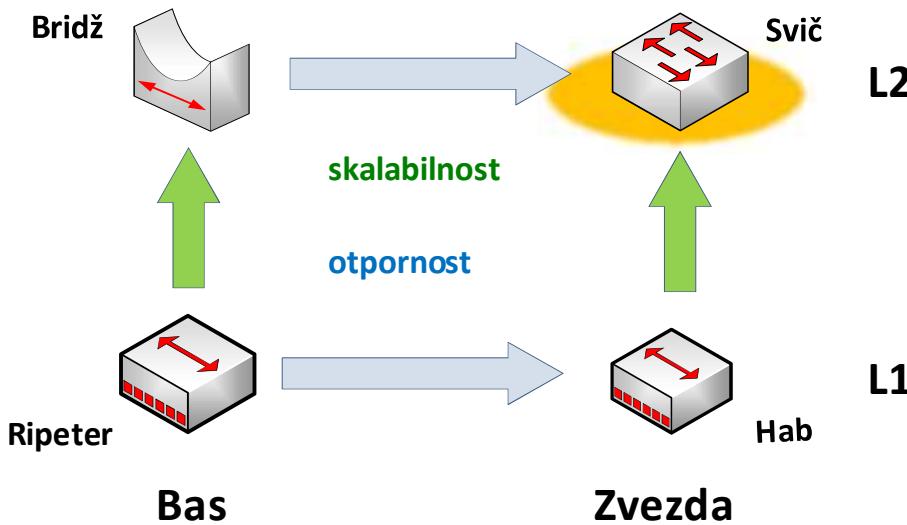
# Struktурно kabliranje

- Struktурно kabliranje
  - Inicijalna ideja
    - Iskoristiti postojeću telefonsku mrežu u poslovnim zgradama za 10BASE-T
  - Generalna struktura
    - Čvorište mreže u jednom centru
    - „Vertikalna instalacija“ između spratova
    - „Horizontalna instalacija“ unutar sprotova
  - Za veće brzine (100Mbps, 1Gbps)
    - Novi UTP kablovi „kategorije 5e“
    - Segmenti do 100m



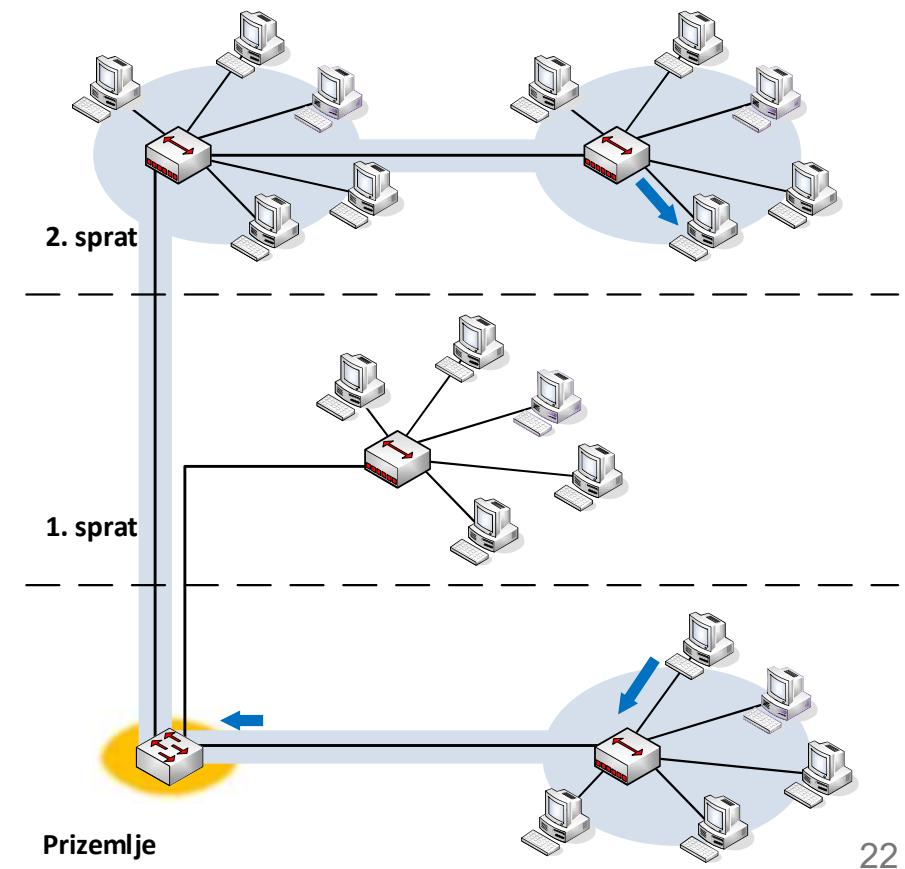
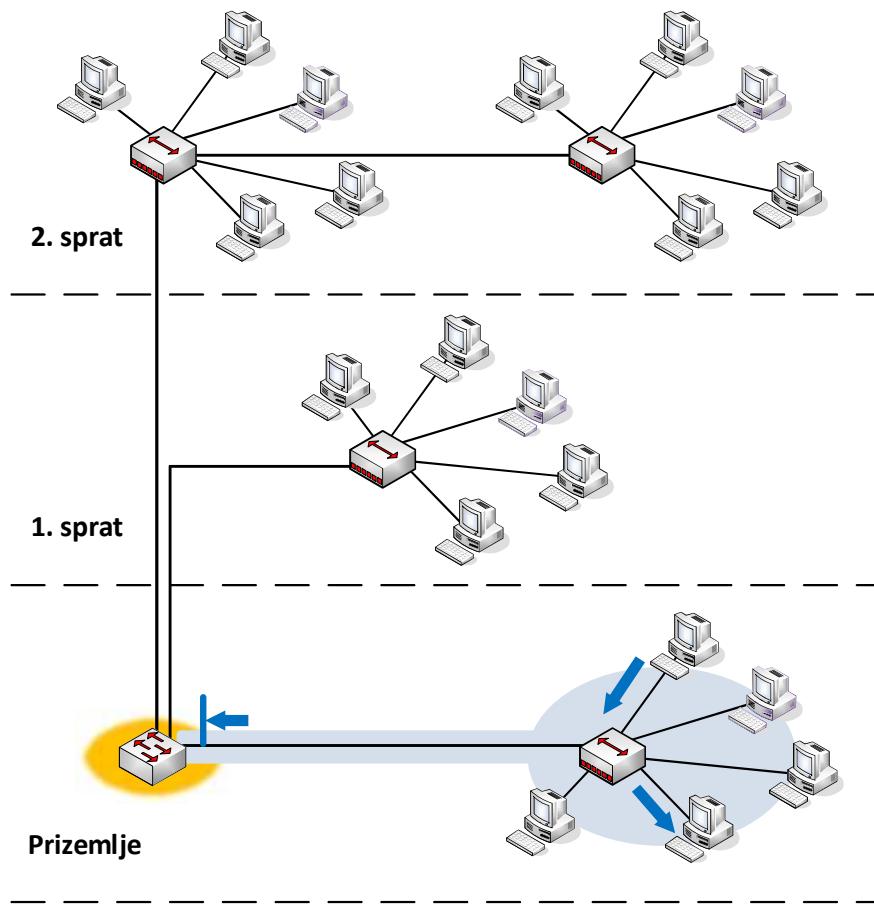
# Problem skalabilnosti

- Bridževi
  - Skalabilnost, ali ne i otpornost
- Habovi
  - Otpornosti, ali ne i skalabilnost
- Kako postići i otpornosti i skalabilnost?
- **Svič**
  - Pametan hab
  - Višeportni bridž



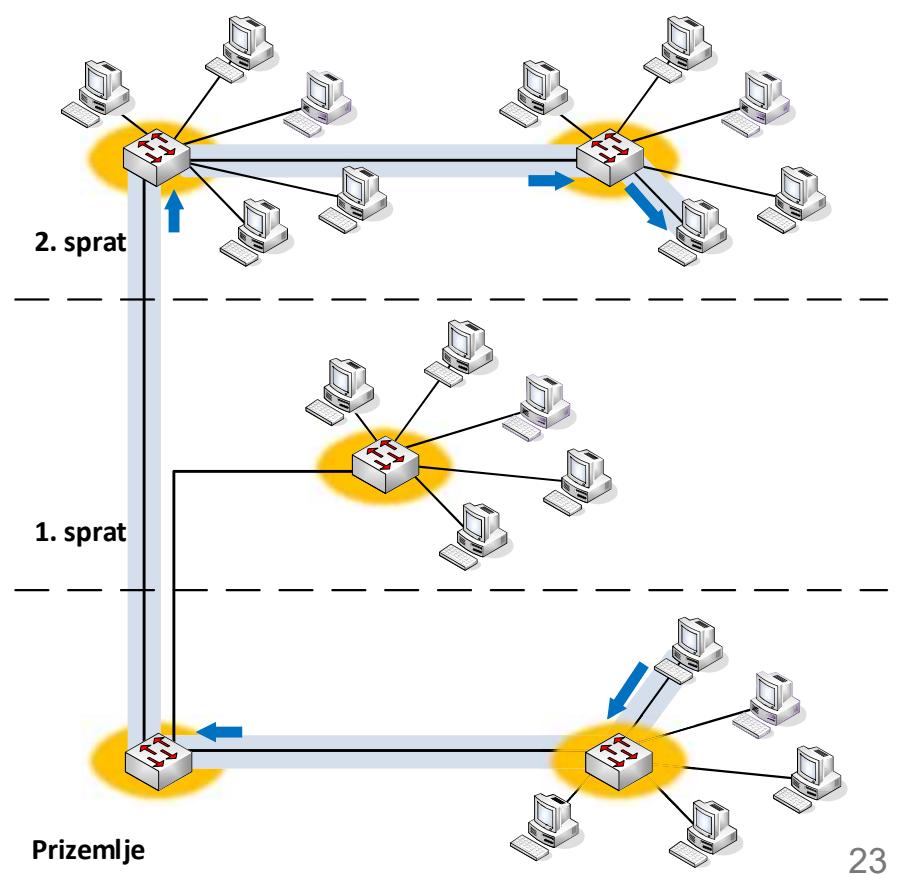
# Svičevi

- Zamena habova u centralnim čvorištimi LAN mreža
  - Smanjenje veličine kolizionih domena
  - Povećanje efikasnosti



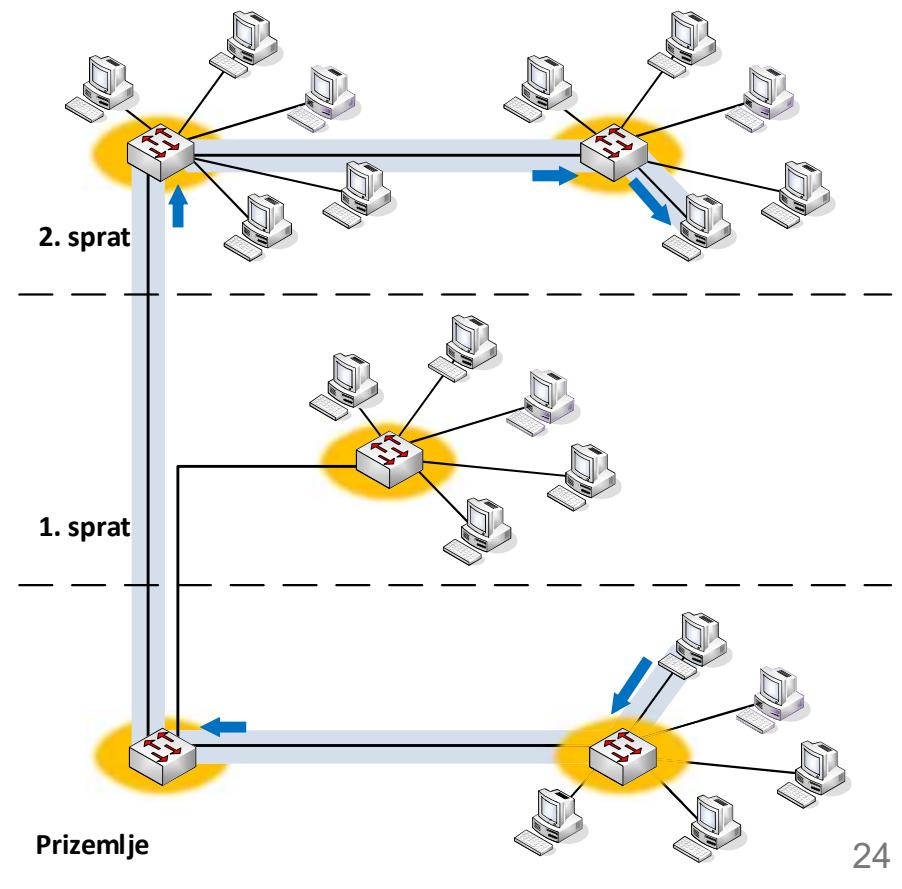
# Svičevi

- Zamena habova i u perifernim čvorištim LAN mreža
  - Svičevi su postepeno (ali relativno brzo) zamenili habove
  - Hubovi, ripiteri, bridževi – više se ne koriste!
- Svičevi – koriste se u modernim LAN mrežama
  - Svaka veza poseban kolizioni domen
  - Ne postoji više ograničenje vezano za veličinu mreže i broj segmenata (jer nema kolizije)
- “Bridž” i “Bridžing”
  - Ponekad se još uvek koriste kao termini koji označavaju uređaje i način rada na L2 nivou



# Princip rada sviča

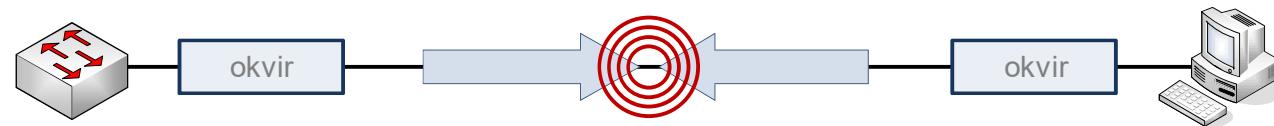
- Svič je višeportni bridž
  - funkcionalno svič radi isto kao i bridž
- Pet procesa svičinga:
  - *Forwarding*
  - *Filtering*
  - *Learning*
  - *Flooding*
  - *Aging*



# Half Duplex, Full Duplex

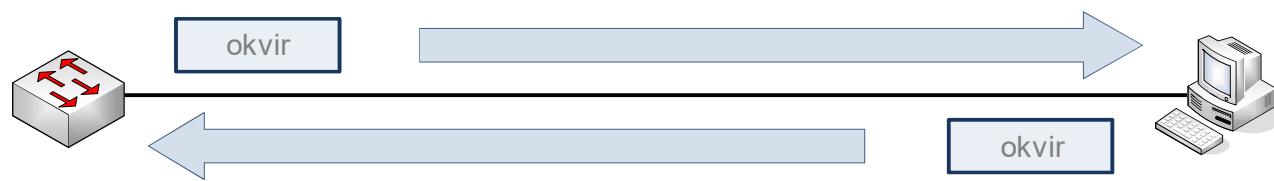
- **Half Duplex**

- Segment između sviča i uređaja – deljeni medijum, kolizioni domen
- I dalje moguća kolizija dva okvira iz različitih smerova



- **Full Duplex**

- UTP kablovi imaju razdvojene parice u oba smera (*receive, transmit*)
- Mogućnost istovremenog stanja okvira u oba smera

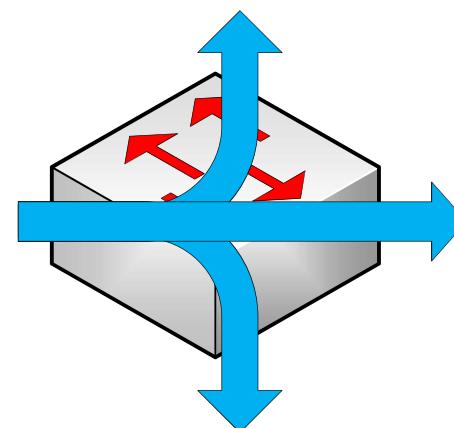
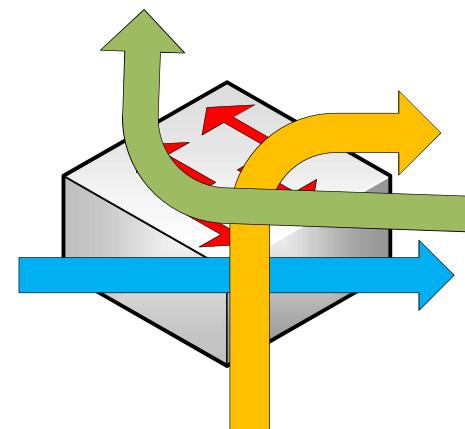
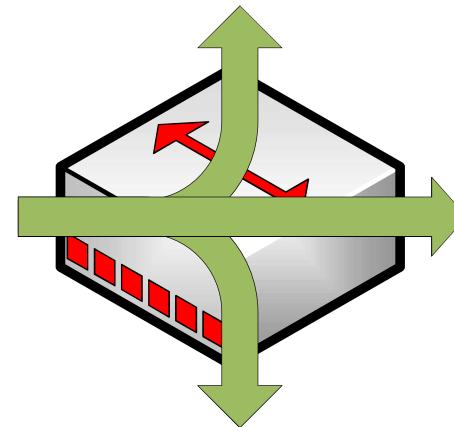


- Mogućnost stanja okvira u nizu – maksimalni protok u oba smera



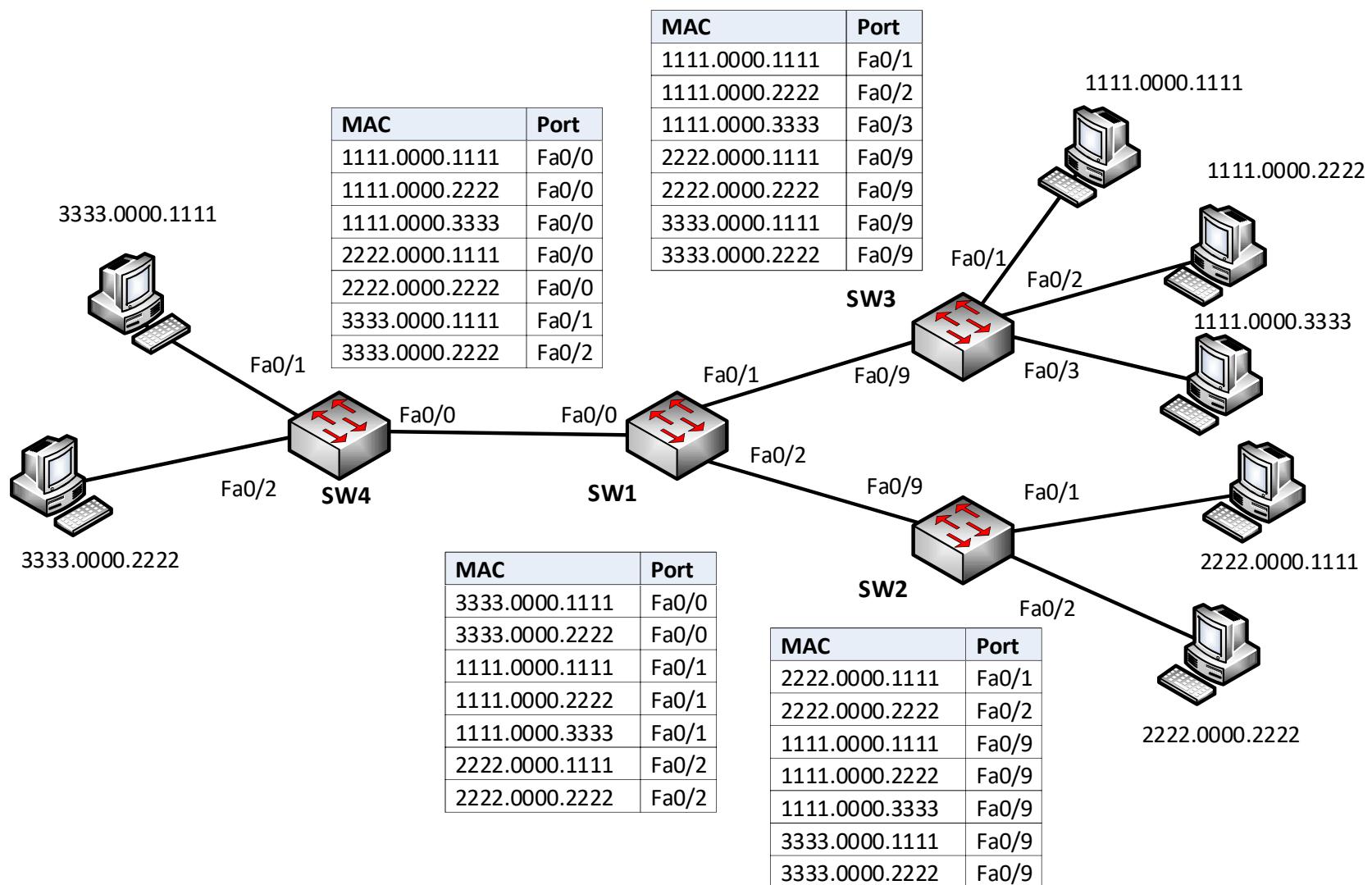
# Svičevi

- Habovi
  - Okvir sa ulaznog porta se klonira i prosleđuje na sve izlazne portove
- Svičevi
  - Istovremeni prenos različitih okvira između proizvoljnih parova ulaznih i izlaznih portova
  - Proslđivanje brodcast okvira (odradišna adresa je FFFF.FFFF.FFFF)
    - Sa jednog ulaznog porta okvir se kopira i prosleđuje na sve preostale portove



# Princip rada sviča

- Portovi svičeva



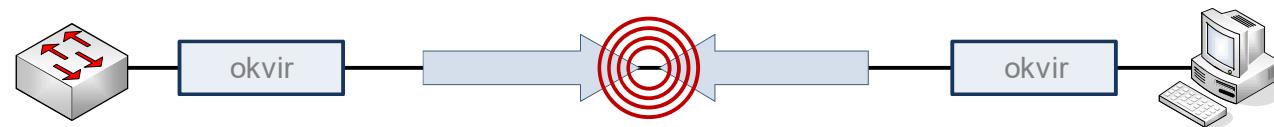
# Aspekti korišćenja svičeva

- Vrsta medijuma
  - UTP i optika
- Način prenosa okvira po vezi
  - *full duplex* ili *half duplex*
- Učitavanje i prosleđivanje okvira
  - Utiče na kašnjenje
- Brzine portova
  - Fiksne ili *auto-negotiation*
  - Simetrično i asimetrično

# Način prenosa okvira po vezi

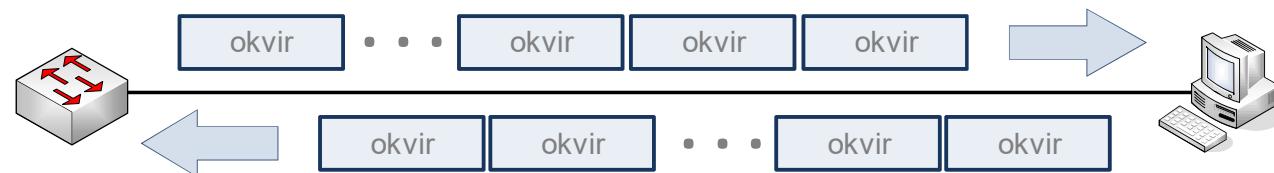
- *Half Duplex*

- Kada su povezani na habove (zbog kompatibilnosti)
- Može da se javi i na vezi sa računarima



- *Full Duplex*

- Podrazumevani režim rada
- Samo na *point-to-point* vezama
- Nema mogućnosti da dođe do kolizije, ne postoji ni kolizioni domeni
- Stanja okvira u nizu u oba smera – maksimalni protok u oba smera



# Učitavanje i prosleđivanje okvira

Tehnike učitavanja (baferovanja) i prosleđivanje okvira - utiče na kašnjenje

- **Store and Forward**

Svič prima ceo okvir, proverava FCS i prosleđuje ga na izlazni port

- Najveće kašnjenje

- **Fragment Free**

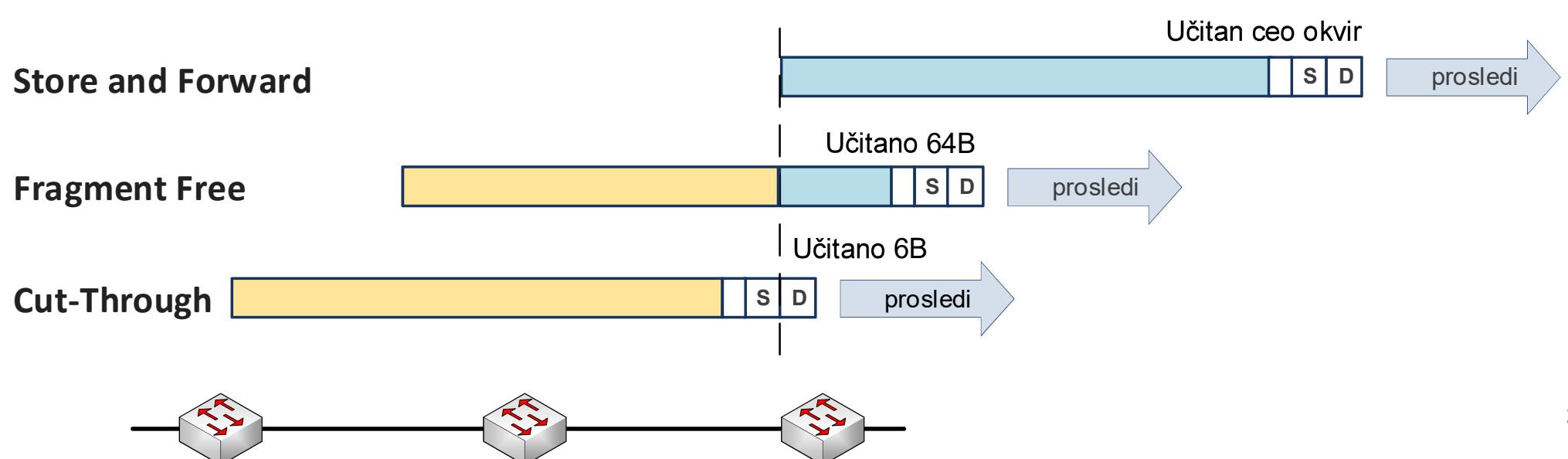
Svič počinje prosleđivanje nakon primljenih prvih 64 bajtova

- Ako nastane kolizija kada svič radi u *half-duplex* modu (povezan na hab)

- **Cut-Through (Fast Forward)**

Svič počinje prosleđivanje čim primi odredišnu MAC adresu (samo 6 bajtova)

- Najmanje kašnjenje



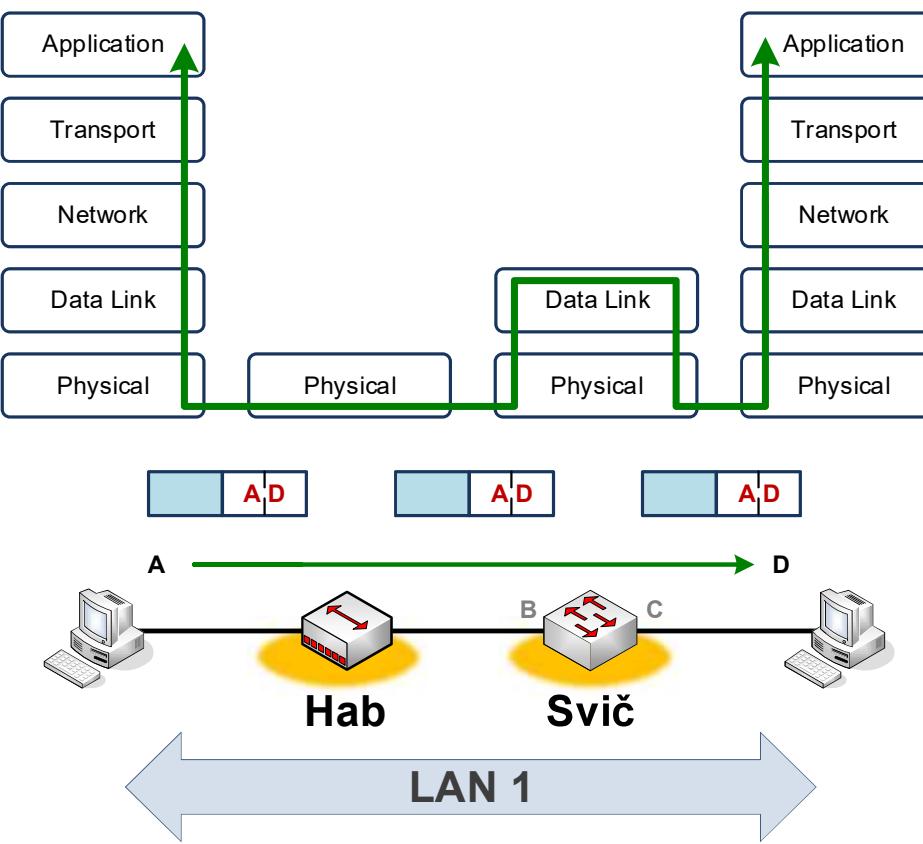
# Brzine portova

- **Auto-negotiation**
  - Svič i povezan uređaju automatski uspostavljaju vezu na najvećoj mogućoj brzini koju podržavaju
  - Oznaka: 10/100/1000BASE-T
- **Simetrično prosleđivanje:**
  - Port sa kojeg dolazi okvir i port na koji odlazi okvir su iste brzine
- **Asimetrično prosleđivanje:**
  - Port sa kojeg dolazi okvir i port na koji odlazi okvir su različite brzine
  - Primer:
    - Svič sa 24 100BAST-TX i 2 1000BASE-T porta
    - 100 Mbps portovi za povezivanje klijentskih računara
    - 1 Gbps portovi za povezivanje servera ili na centralni LAN svič - uplink veze
  - Store-and-forward **mora** da se koristi kod asimetričnog prosleđivanja
  - Da bi se ostvarila maksimalna brzina prosleđivanja gotovo sve funkcije sviča su realizovane specijalizovanim hardverom (ASIC čipovi)

# Prenos okvira u LAN mrežama

- **Svičevi – Layer 2 uređaji**

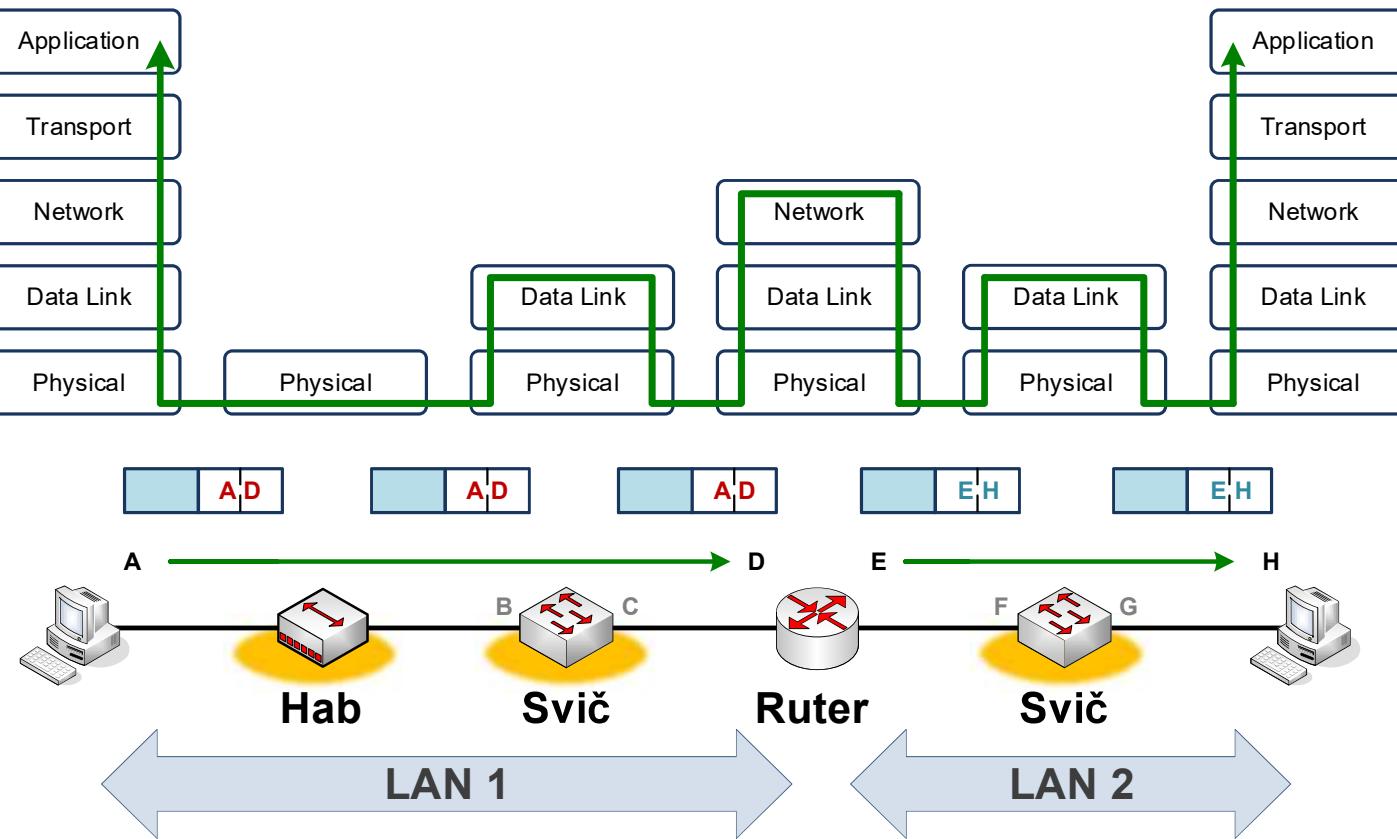
- Gledaju okvire na L2 nivou, ali ih ne menjaju
- Portovi sviča imaju MAC adrese, ali se one ne koriste u zaglavlju okvira
- Okvir je nepromenljiv unutar LAN mreže
- LAN 1: A => D



# Prenos okvira u LAN mrežama

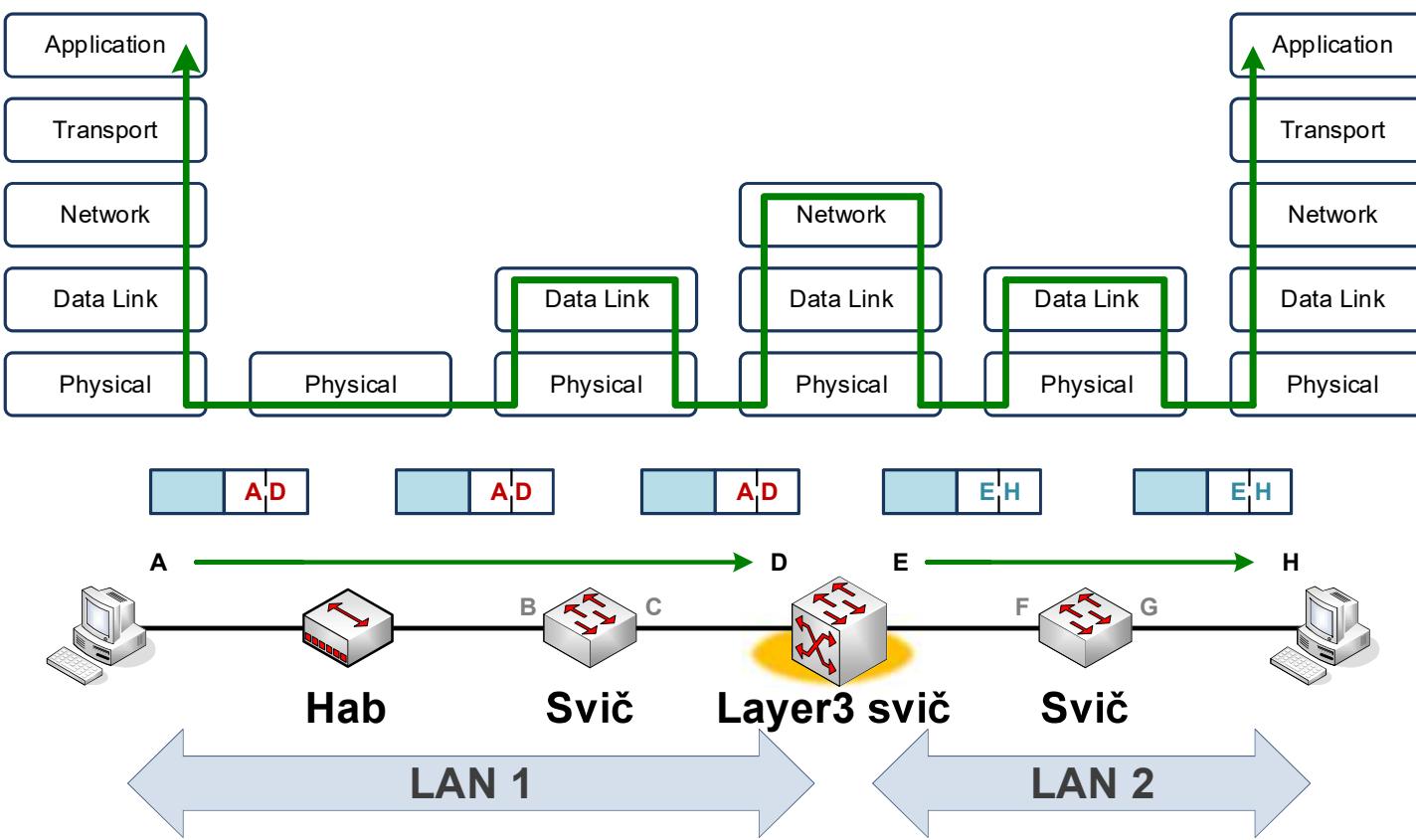
- **Ruteri – Layer 3 uređaji**

- Povezuju LAN mreže (predstavljaju granicu LAN mreža)
- Portovi rutera imaju MAC adrese - koriste se u zaglavlju okvira
- Gledaju okvire na L3 nivou, ali menjaju adrese na L2 nivou
  - LAN 1: A => D
  - LAN 2: E => H (novi okvir)



# L3 svičevi

- Layer 3 svičevi - svičevi sa mogućnošću rutiranja
  - Hardversko rutiranje na L3 nivou – velike brzine
  - Ostale napredne osobine ruteru
    - Security, QoS (*Quality of Services*), praćenje tokova...





# Koju tehniku baforovanja radi svič kada prosleđuje okvir sa porta više brzine na port niže brzine?

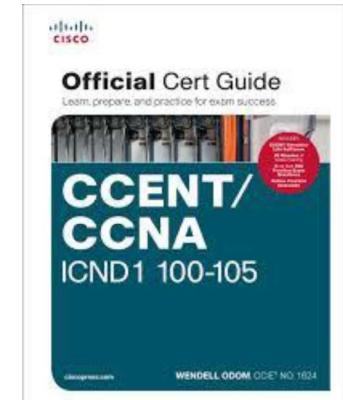
Store and Forward

Fragment Free

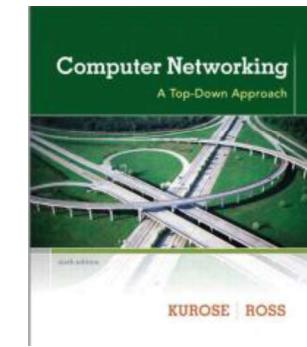
Cut-Through

# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press

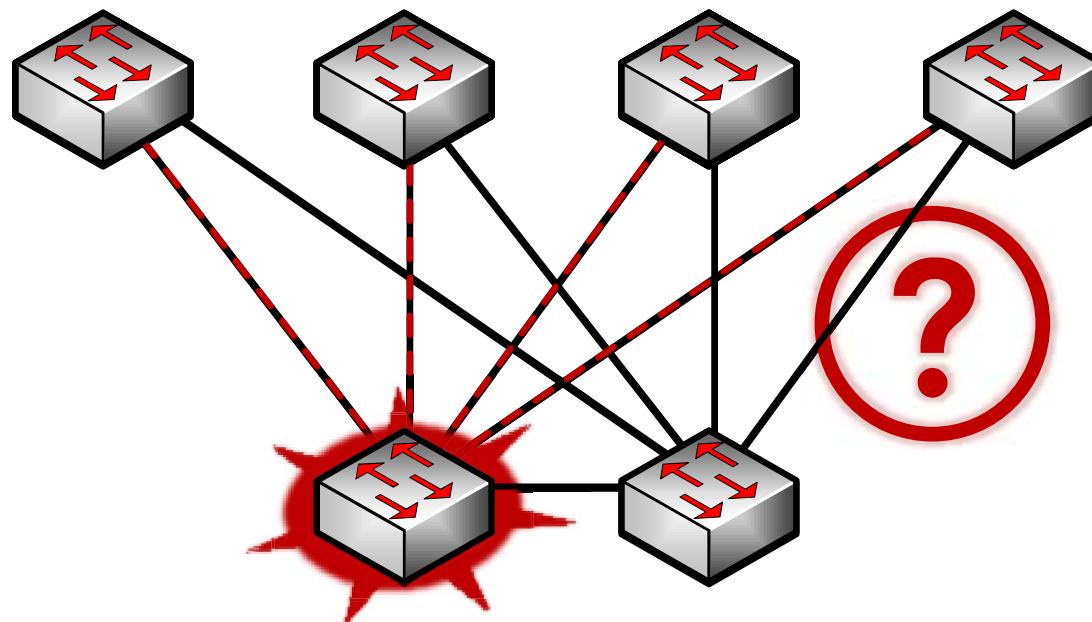


- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET



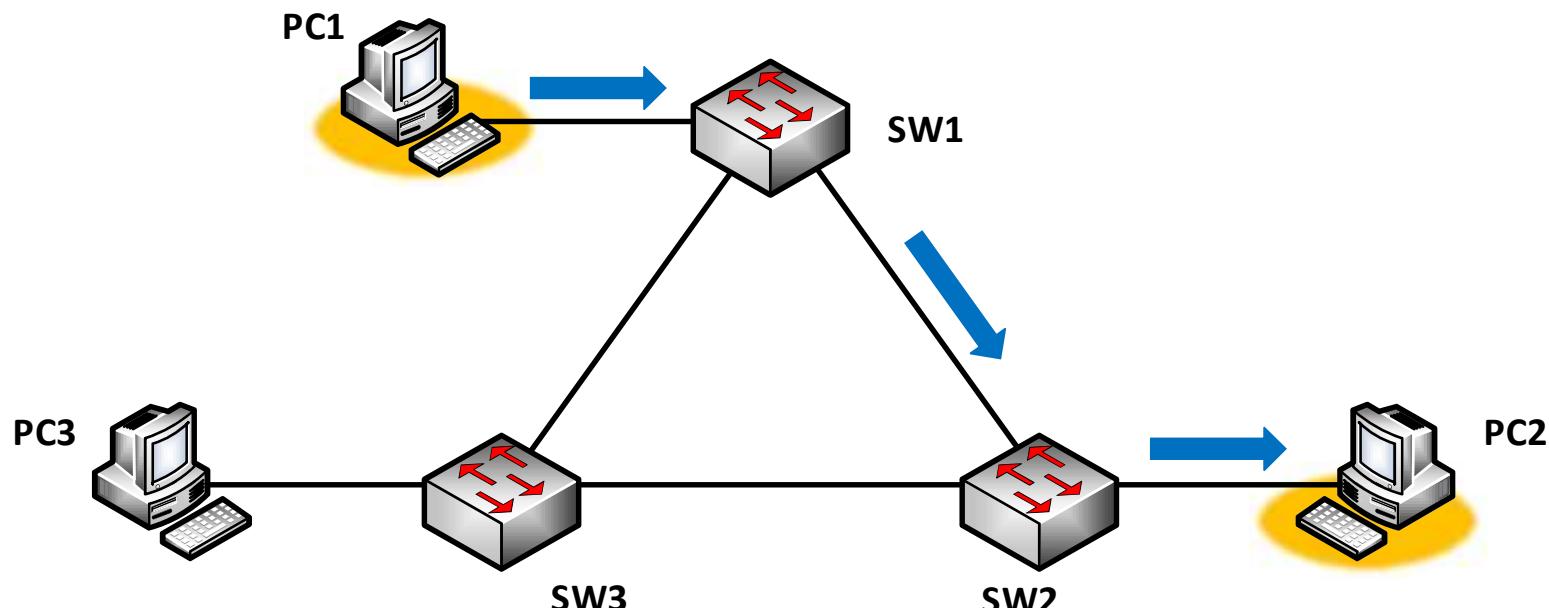
# Ethernet ograničenja

- Ograničenja
  - Skalabilnost
    - Rešenje: Bridževi, Svičevi
  - Otpornost bas topologije
    - Rešenje: Zvezdasta topologija (aciklično) - Habovi, Svičevi
  - Otpornost zvezdaste topologije (prekid veze ili sviča)
    - Rešenje: Redundantna topologija (ciklično)
    - Problem: Originalni Ethernet ne predviđa i ne dozvoljava petlje



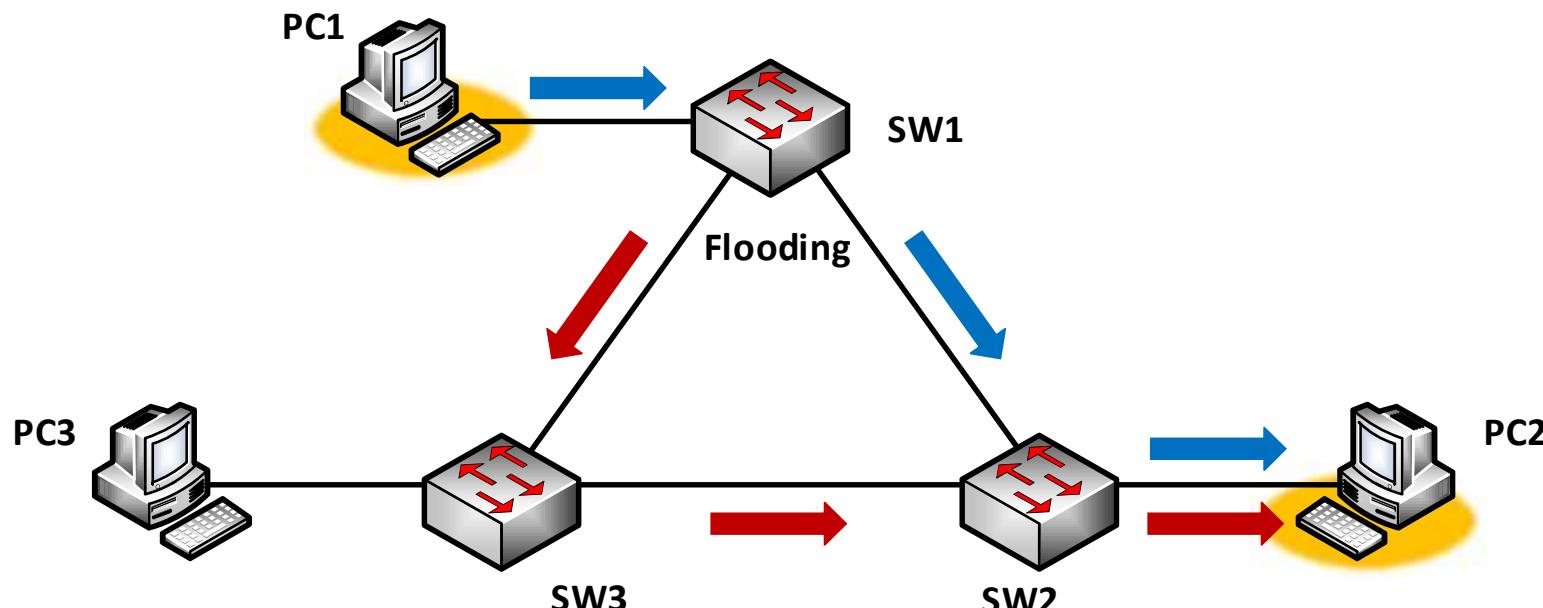
# Petlje u putanjama

- Ripiteri i habovi
  - Reemituju okvire na izlazne portove
  - U slučaju petlji, paketi će beskonačno da se vrte!
- Bridževi i svičevi
  - „Pametni“ ripiteri i habovi, ali ne prepoznaju petlje!
  - Prosleđivanje paketa – naizgled sve OK, ali...



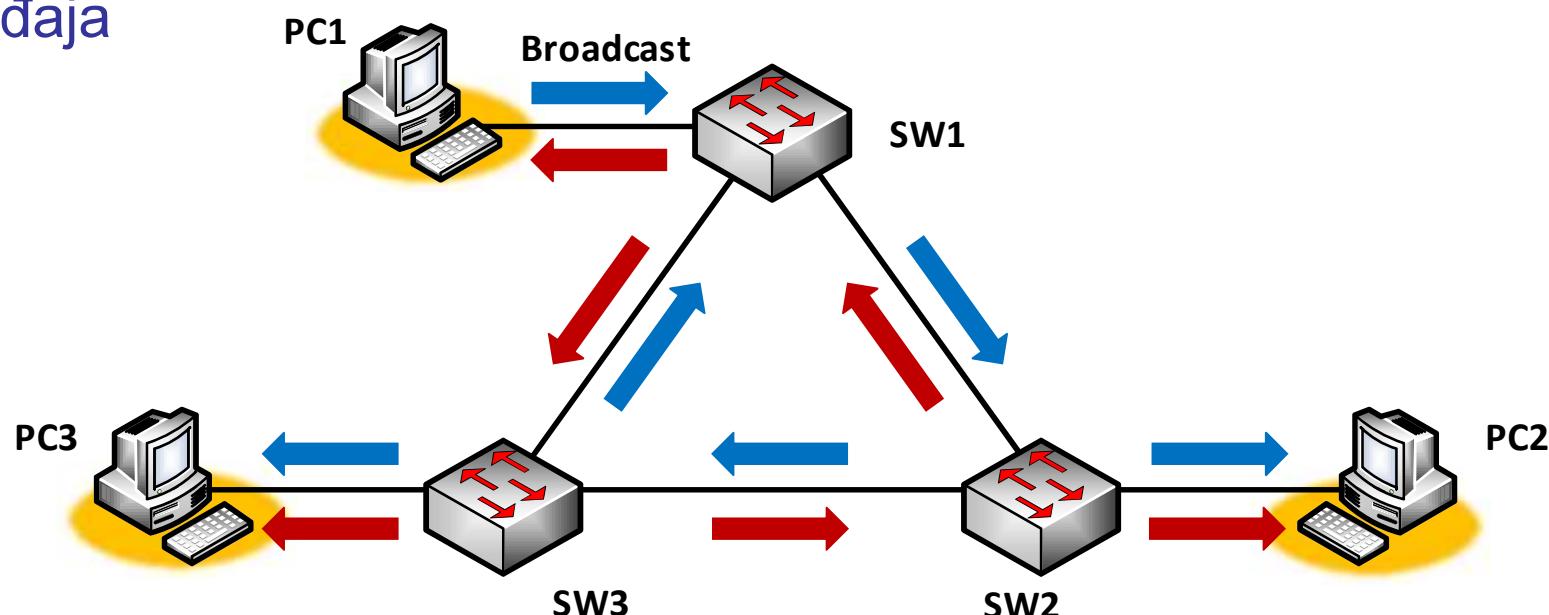
# Dupliranje pristiglih okvira

- Scenario: PC1 šalje unikast okvir za PC3
  - SW1 nema MAC adresu u bridžing tabeli
  - SW1 šalje kopije okvira na sve ostale portove (flading)
  - Jedan okvir se prosleđuje od SW1 preko SW3 do odredišta
  - Drugi okvir se prosleđuje od SW1 preko SW2 i SW3 do odredišta
  - PC3 dobija dva identična okvira



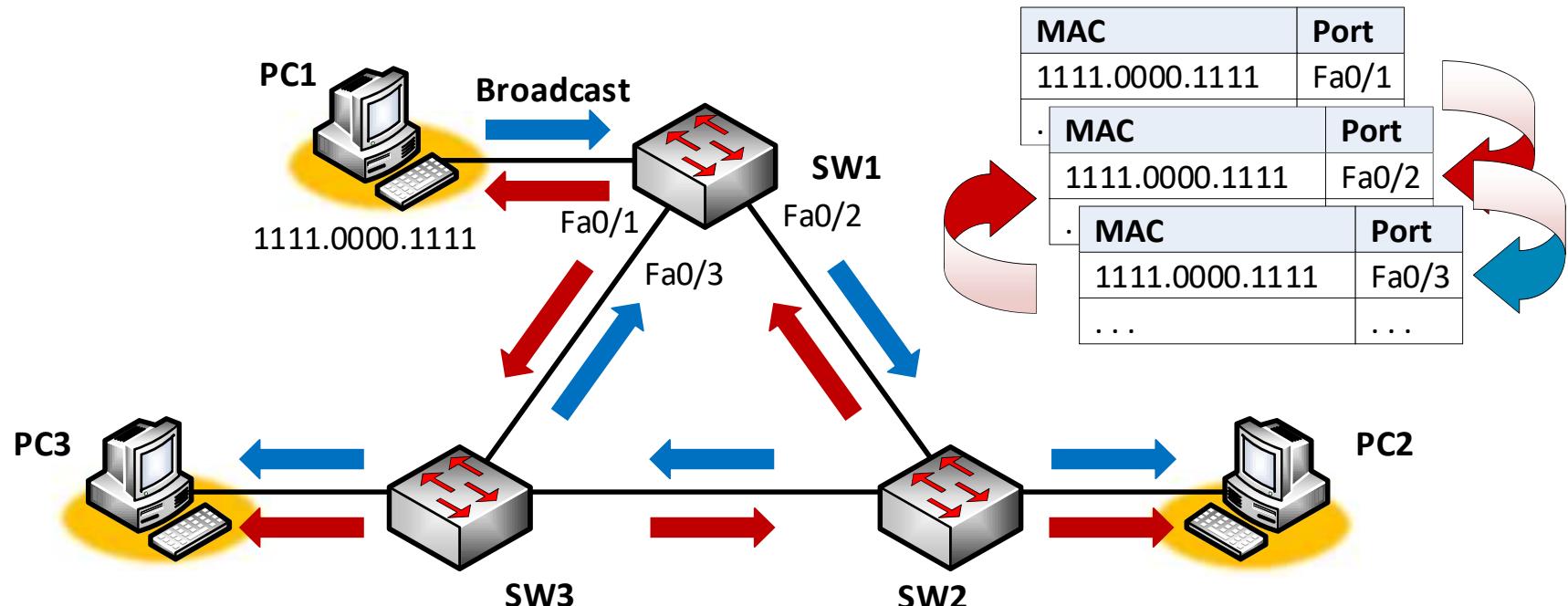
# *Broadcast storm*

- Scenario: PC1 šalje brodcast okvir (FFFF.FFFF.FFFF)
  - SW1 prosleđuje okvir na sve ostale portove, do SW2 i SW3
  - SW2, okvir od SW1, prosleđuje na sve ostale portove, do PC2 i SW3
  - SW3, okvir od SW2, prosleđuje na sve ostale portove, do PC3 i SW1
  - SW1, okvir od SW3, prosleđuje na sve ostale portove, do PC1 i SW2
  - Jedan okvir neprestano kruži u jednom smeru: SW1, SW2, SW3, SW1...
  - Drugi okvir neprestano kruži u drugom smeru: SW1, SW3, SW2, SW1...
  - U svakom sviču okviri se prenose do svih izlaznih portova i povezanih uređaja



# Nestabilnost bridžing tabela

- Scenario: PC1 šalje brodcast okvir (FFFF.FFFF.FFFF)
  - Dva ista brodcast okvira od PC1 kruže u različitim smerovima
  - Prvi okvir za PC1 menja port u Fa0/2 u bridžing tabeli
  - Drugi okvir za PC1 menja port u Fa0/3 u bridžing tabeli
  - Obe vrednosti su pogrešne – okviri ne mogu da se proslede do PC1

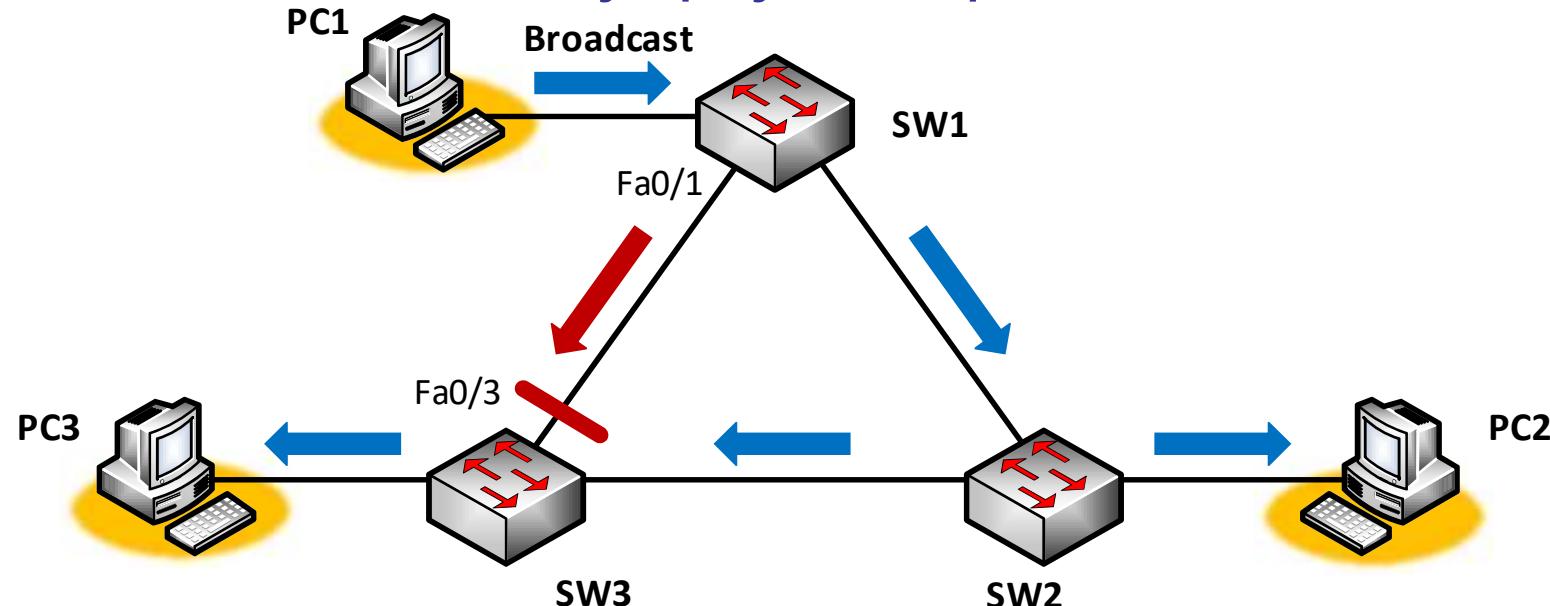


# Petlje u putanjama

- Dupliranje pristiglih okvira
  - Flading => Kruženja paketa u oba smera => Pristižu dupli unikast paketi
- *Broadcast storm*
  - Brodkast => Neprestano kruženje u oba pravca => Višestruki prijem
- Nestabilnost bridžing tabela
  - Neprestano kruženje u oba pravca => Oscilacija bridžing tabele => Pogrešne vrednosti

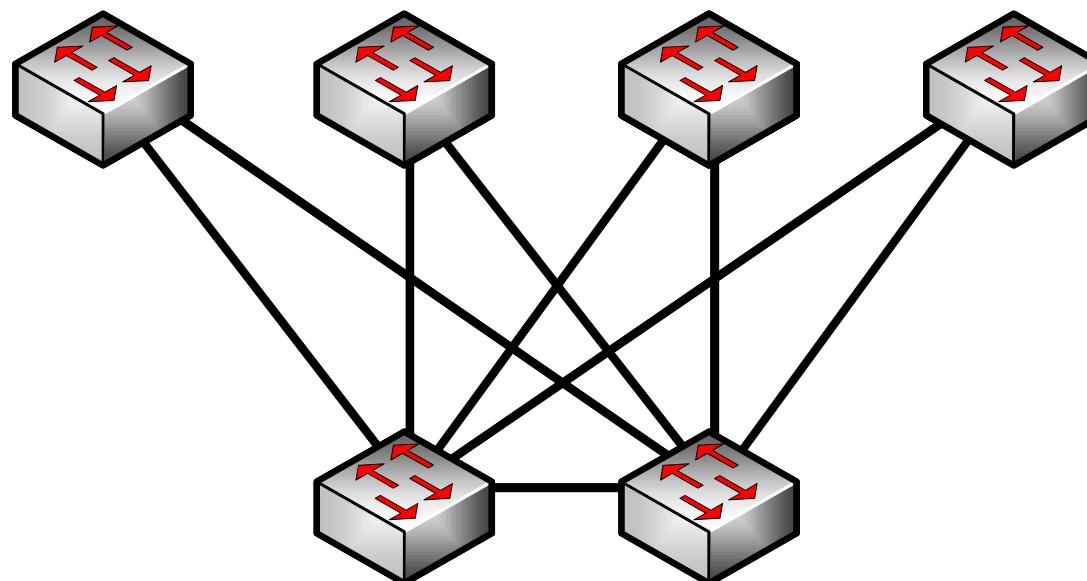
# Uklanjanje petlji

- Rešenje:
  - Sve petlje moraju da se ukinu, ali da se zadrži potpuna povezanost
  - Uklanjanje petlji - Pojedini svičevi bokiraju pojedine portove
- Primer: SW3 blokira port Fa0/3
  - SW1 prosleđuje brodcast na oba porta prema SW2 i SW3
  - Brodcast okvir se odbacuje na ulazu u port Fa0/3 sviča SW3
  - Drugi broadkast okvir se ispravno prosleđuje do svih učesnika
- „Pojedini svičevi blokiraju pojedine portove“ – Kako?



# *Spanning-Tree Protocol*

- **STP - Spanning-Tree Protokol, IEEE 802.1D (1990)**
  - Protokol uklanjanja petlji u Ethernet mrežama (L2 nivo)
  - Pojedini portovi se blokiraju
  - Uspostavlja se stablu unutar topologije grafa („spanning tree“)
  - **Radia Perlman**, Digital Equipment Corporation (DEC), 1985



# Spanning-Tree Protocol

- **Parametri:**

- **Identifikacija sviča/bridža (Bridge ID)**

- Dva polja (8 bajtova): *Bridge Priority* (2 bajta), MAC (6 bajtova)
- Prioritet se može setovati i forsirati određeni svič ima veći značaj u STP

- **Cena porta (Port Cost)**

- Celobrojna vrednost pridružena portu
- Ista za uparene portove za *point-to-point* vezama i deljenim segmentima
- Obrnuto proporcionalno brzini prenosa na portu
- Inicijalno: 1000 Mbps/Bandwidth
- Kasnije revidirano da bi se podržale brzine veće od 1 Gbps

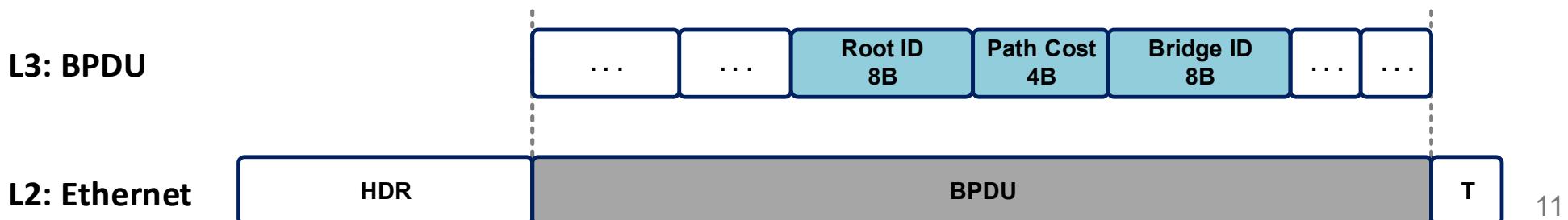
Brzina	IEEE Cost	Revidirani IEEE Cost
10 Mbps	100	100
100 Mbps	10	19
1 Gbps	1	4
10 Gbps	1	2

- **Cena putanje (Path Cost)**

- Suma cena portova na putu od izvora do odredišta (ulazni port – jedan po vezi)
- Određuje metriku putanja – za odlučivanje koja putanja je bolja
- Najbolja putanja ima najmanju cenu

# STP poruke

- Svičevi međusobno komuniciraju putem poruka  
**BPDU - Bridge Protocol Data Unit**
  - Prenose STP informacije
  - Samo između susednih svičeva
  - Enkapsulirane unutar Ethernet okvira – STP predstavlja protokol 3. nivoa
    - Izvořišna MAC adresa – port sviča koji šalje okvir
    - Odredišna MAC – fiksna multikast MAC adresa (0180.C200.0000)
      - Prihvataju je samo STP svičevi, ostali uređaji odbacuju
- Tri vrste BPDU poruka
  - *Configuration* BPDU
  - TNC – *Topology Change Notification*
  - TCA – *Topology Change Acknowledgment*



# Sprovodenje STP

STP proces – kroz 4 faze:

## 1) Izbor *root* sviča (bridža)

- Svič sa najmanjom vrednošću *Bridge ID*

## 2) Izbor *root* portova (RP)

- Posmatrano **na sviču**:
  - Samo jedan port sviča od koga vodi putanja sa najnižom cenom do *root* sviča
  - Uvek pripadaju STP stablu

## 3) Izbor *designated* portova (DP)

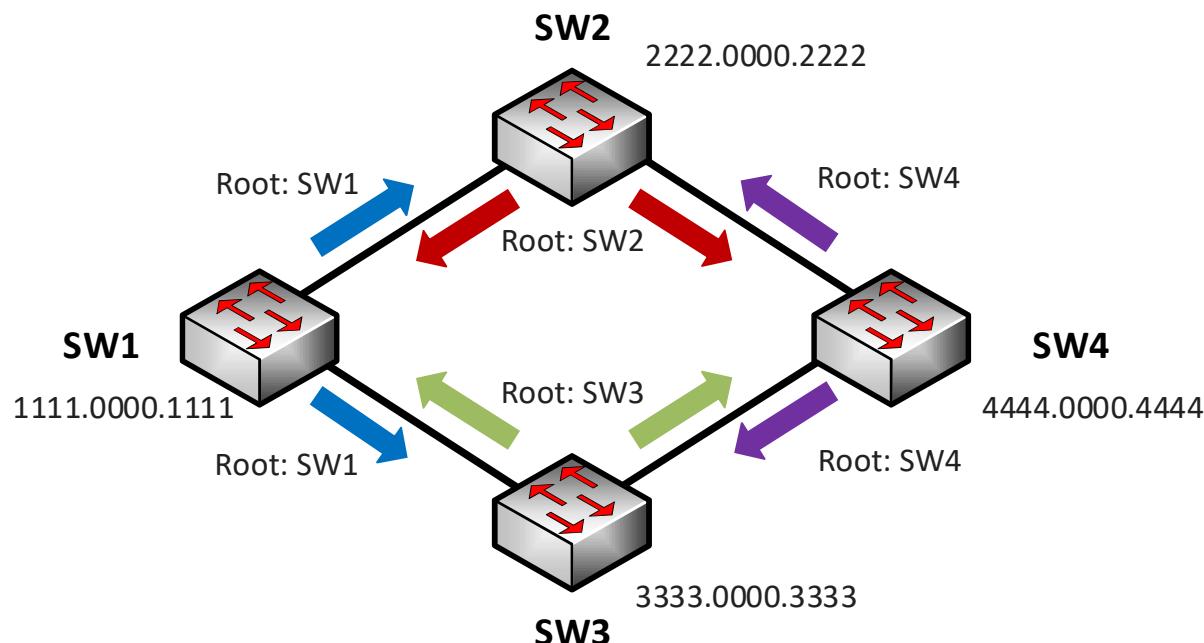
- Posmatrano **na segmentu** (deljeni medijum ili direktni link):
  - Samo jedan port od koga vodi putanja sa najnižom cenom do *root* sviča
  - Mogu da pripadaju i STP stablu i ukinutim granama

## 4) Blokiranje preostalih portova

- Preostali portovi se blokiraju i prekidaju petlje
- Uvek pripadaju ukinutim granama

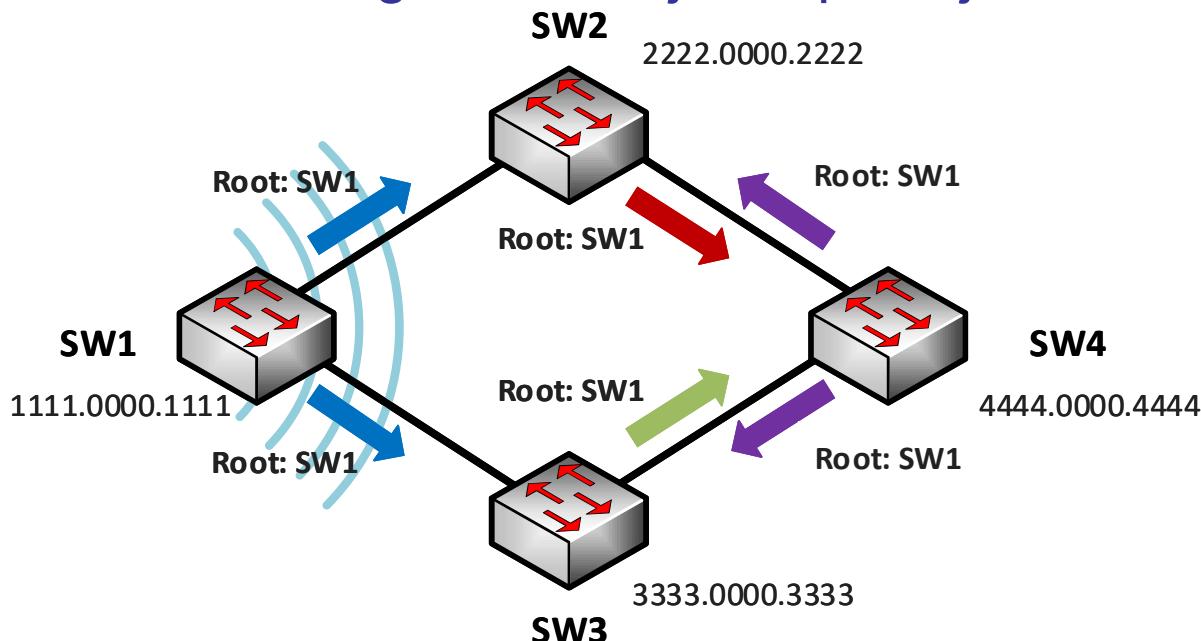
# Izbor Root sviča

- *Root svič* – svič sa najmanjom identifikacijom (*Bridge ID*)
- Inicijalno
  - Svičevi nemaju informacije o drugim svičevima i njihovim identifikacijama
  - Svaki svič nominuje sebe za *root* svič
    - *Configuration BPDU* poruku sa svojom identifikacijom u polju *Root Bridge ID* oglašava susednim svičevima



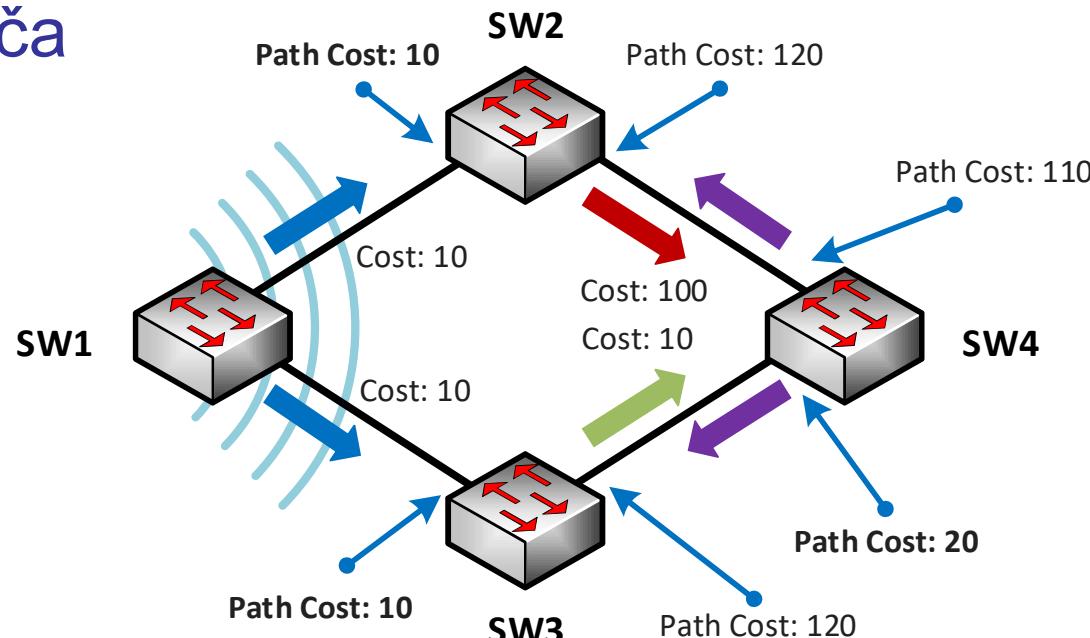
# Izbor Root sviča

- Susedni svičevi kada prime *Configuration BPDU* poruku
  - Ako je vrednost *Root Bridge ID* iz poruke **veća** od identifikacije sviča:
    - Svič nastavlja da oglašava sebe kao kandidata za *Root* svič
  - Ako je vrednost *Root Bridge ID* iz poruke **manja** od identifikacije sviča:
    - Svič počinje da oglašava dobijenu (manju) vrednost za *Root Bridge ID*
- Posle izvesnog vremena
  - Svi svičevi će da oglašavaju najmanju vrednost *Root Bridge ID*
  - Svi svičevi su se usaglasili da taj svič postaje *Root* svič



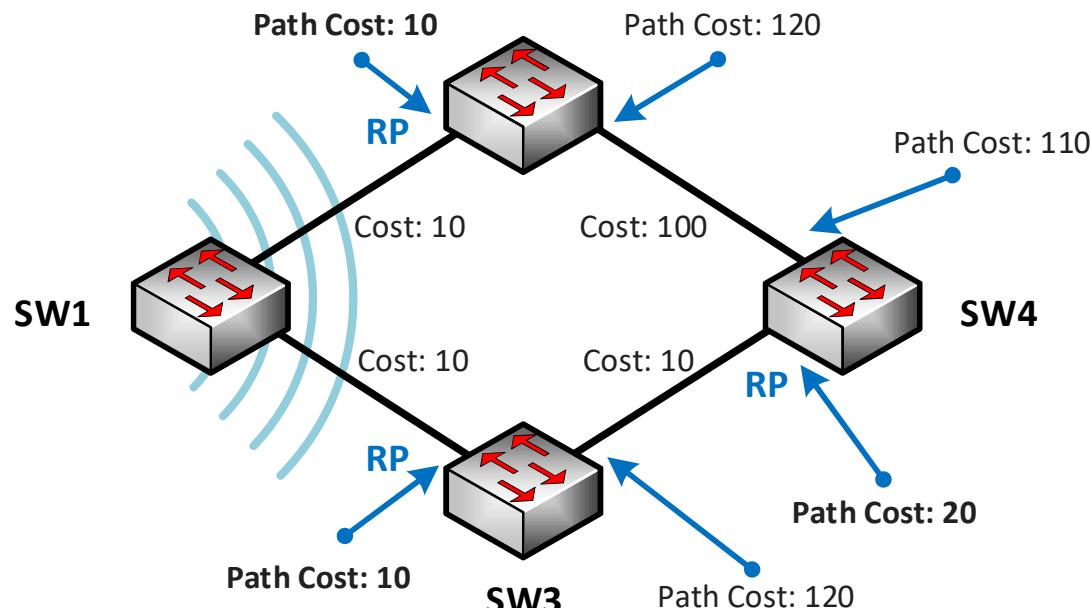
# Izbor Root portova

- Samo *Root* svič nastavlja da šalje *Configuration* BPDU
- Svi ostali svičevi primaju *Configuration* BPDU poruke, koje sadrže *Path Cost*
- Pri prijemu poruke u sviču, na *Path Cost* se dodaje *Port Cost*
- Svičevi reemituju BPDU sa novom vrednosti *Path Cost* dalje do ostalih svičeva
- Do svičeva dolaze poruke po svim putanjama sa cenom do *Root* sviča



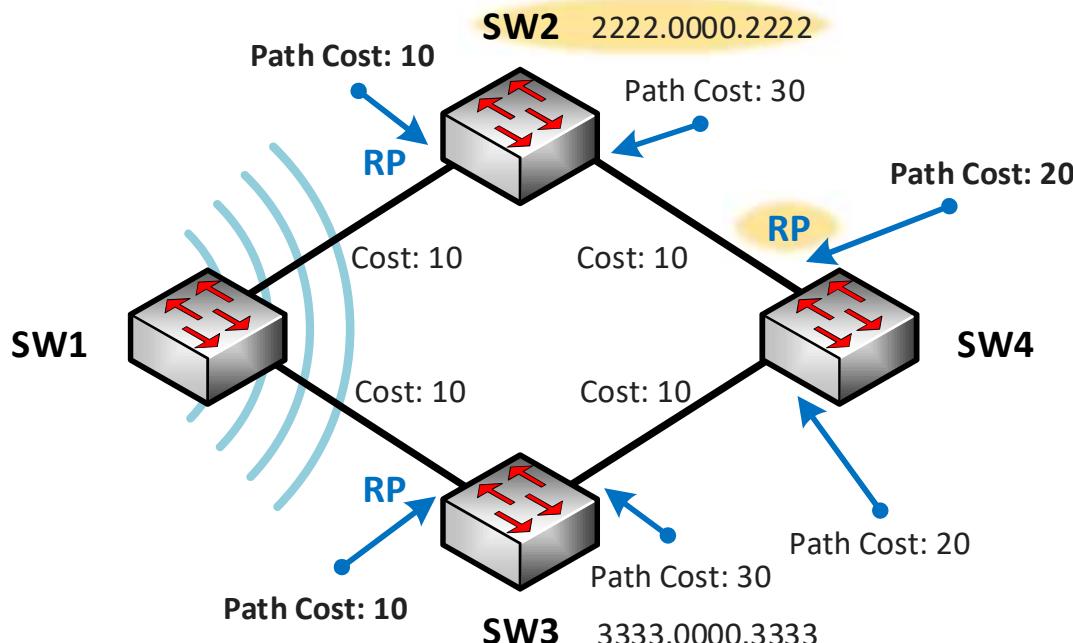
# Izbor Root portova

- **Root port (RP)**
  - Port sviča koji prima najmanju vrednost *Path Cost* (cena do *Root* sviča)
  - Port sviča koji po „najboljoj“ putanji vodi do *Root* sviča
  - **Samo jedan port na nivou sviča**
    - Šta kada više portova sviča dobija istu vrednost *Path Cost*?

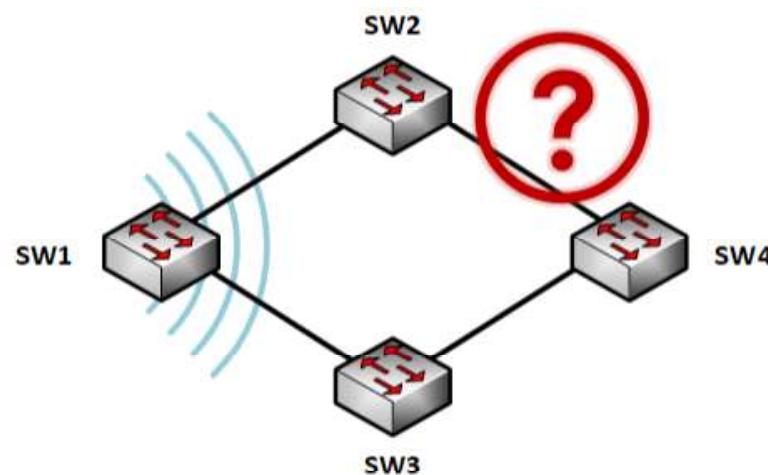


# Izbor Root portova

- Ako više portova dobijaju istu vrednost *Path Cost* (postoji više putanja do *Root* sviča sa istom cenom):
  - Bira se port koji dobija *Configuration BPDU* poruku **od sviča sa manjom identifikacijom**



# Da li svič na dva različita porta može da dobije BPDU pakete sa istom vrednosti polja "Bridge ID"?



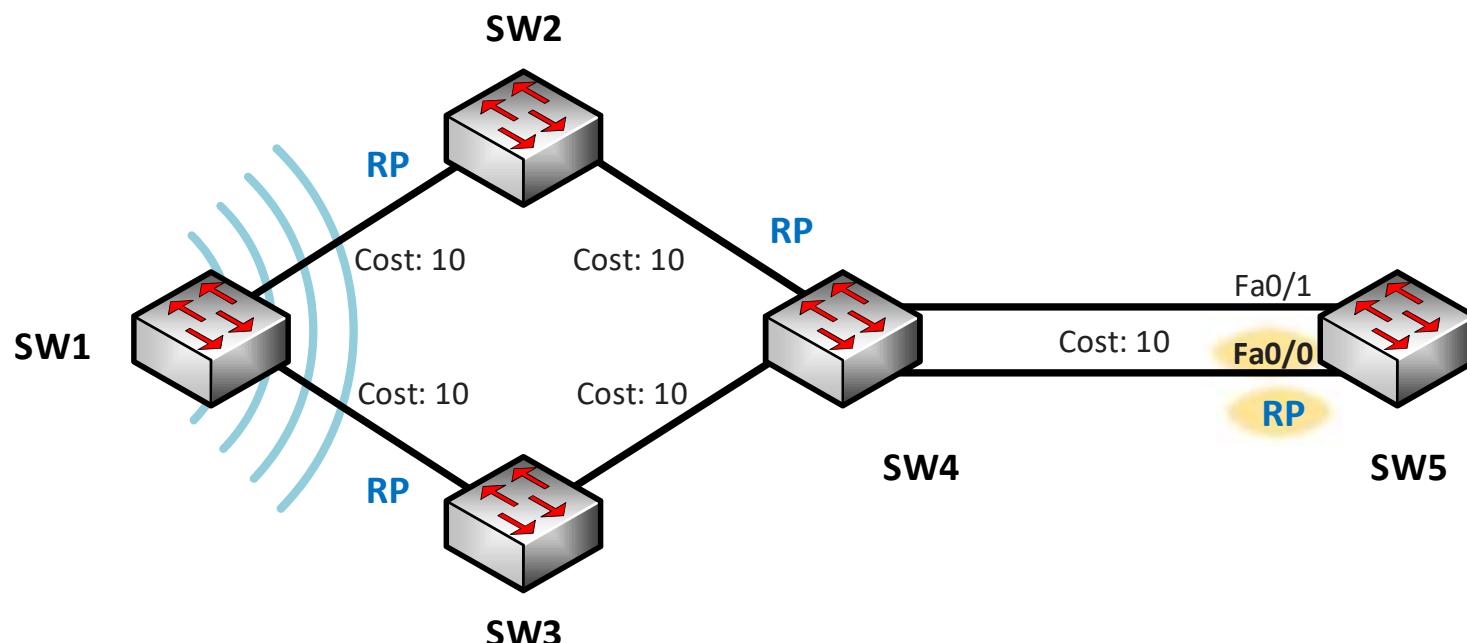
Ne, jer svičevi moraju da imaju rezličite identifikatore

Da, jer svičevima možemo da promenimo prioritet i učinimo da imaju iste identifikatore

Da, ako od istog sviča dobija BPDU paket na različite portove

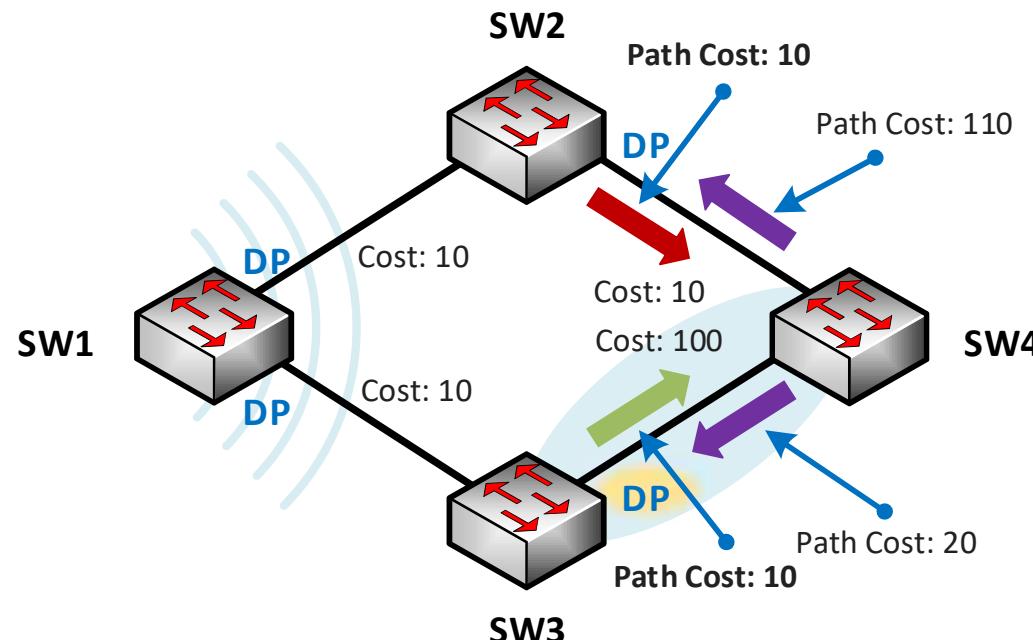
# Izbor Root portova

- Postoje dve paralelne veze sa svičem od kojeg se dobijaju *Configuration BPDU* poruke sa istom vrednosti *Path Cost*
  - Bira se port sa manjim internim rednim brojem
  - Samo jedan Root port na nivo sviča!
- Svi *root* portovi su aktivni – *Forwarding* stanje



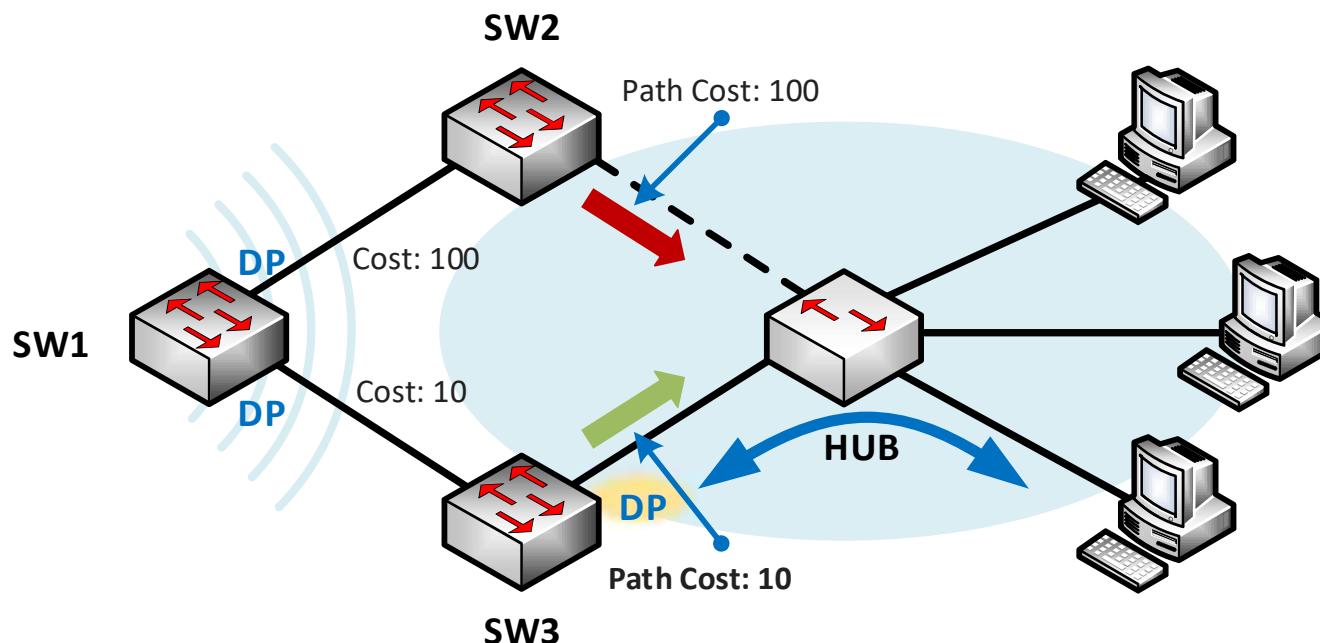
# Izbor *Designated port* portova

- *Designated port* (DP)
  - Posmatrano na nivou segmenta (link ili deljeni segment)
  - Port na segmentu koji oglašava najmanju vrednost *Path Cost* (port na segmentu „najbliži“ *Root* sviču)
- Samo jedan port na segmentu može da bude *Designated port*
- Svi portovi *Root* sviča su DP
  - Prenose najmanju vrednost *Path Cost* (0)



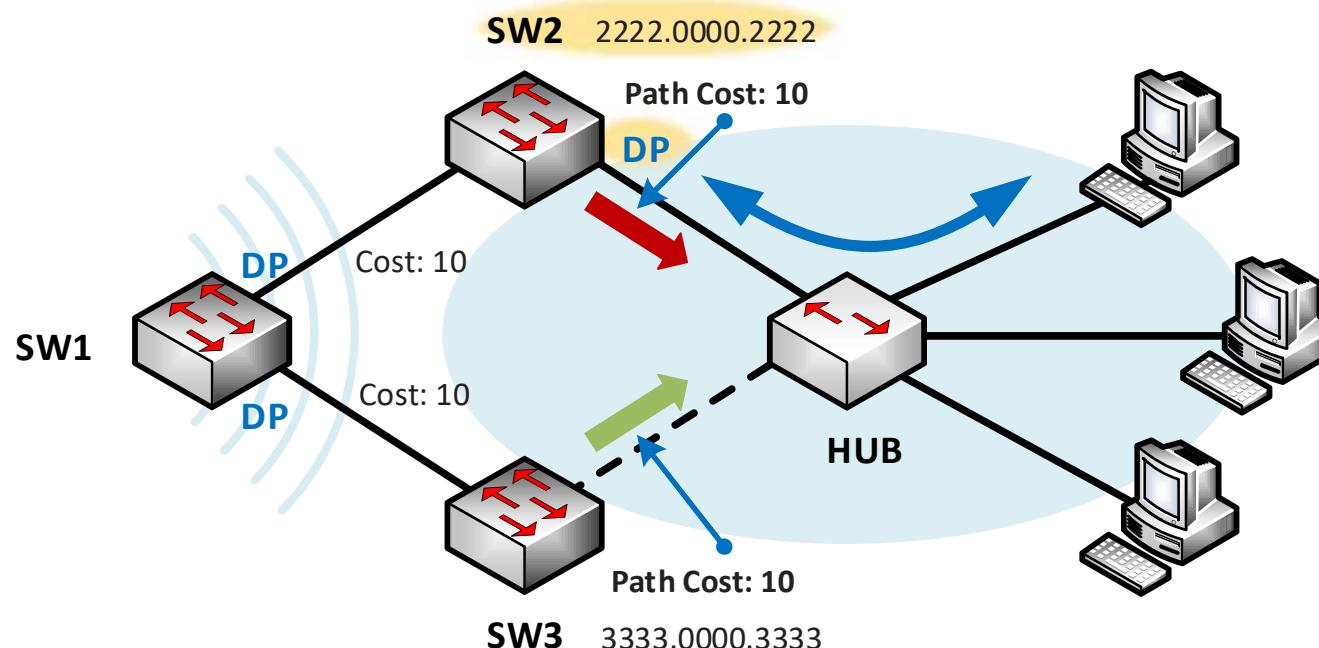
# Izbor *Designated portova*

- Smisao
  - DP na segmentu ostvaruje najbolju putanju prema *Root* sviču
  - Svič ne zna da li je na njega direktno povezan drugi svič ili se nalazi hab sa krajnjim uređajima ili drugim svičevima
  - DP obezbeđuje preferiranu vezu (ulaz i izlaz) za saobraćaj uređaja na tom segmentu



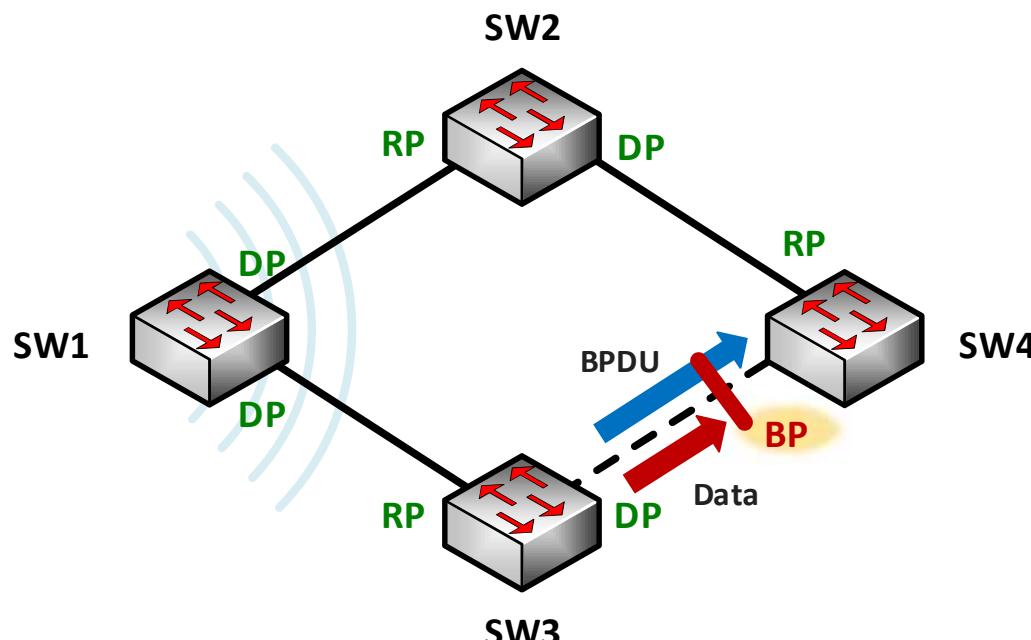
# Izbor Designated portova

- Ako više svičeva oglašava istu vrednost *Path Cost*
  - Bira se port na segmentu čiji svič ima manji bridž ID
- Svi designated portovi su aktivni – *Forwarding* stanje



# Blokirani portovi

- RP i DP se stavljuju u *Forwarding* stanje – prosleđuju okvire
- Svi ostali portovi se stavljuju u *Blocking* stanje - blokirani portovi (BP)
  - Svičevi ne prosleđuju okvire kroz svoje blokirane portove (izlazni smer)
  - Okviri pristižu sa linka na BP (ulazni smer)
    - Prihvataju se samo okviri sa BPDU porukama
    - Svi ostali okviri se odbacuju



# STP proces

SPT proces:

## 1) Izbor *Root* sviča

- Bridž sa najmanjom vrednosti *Bridge ID*
- Svi portovi *Root* sviča se stavljaju u *Forwarding* stanje

## 2) Izbor *Root* portova (RP)

- Svaki svič koji nije *Root*, mora da ima najviše jedan RP
- RP sviča je port koji ima najmanji *path cost* do *root* sviča
- RP određuju najbolju putanje do *Root* sviča, prema *path cost* metrici
- RP se stavljaju u *Forwarding* stanje

## 3) Izbor *designated* portova (DP)

- Bira se na svakom segmentu (deljenom ili *point-to-point*)
- DP se stavljaju u *Forwarding* stanje

## 4) Blokiranje preostalih portova

- Svi ostali portovi se proglašavaju za blokirane portove (BP)
- BP se stavljaju u *Blocking* stanje
- *Disabled* portovi - nepovezani portovi, ne rezmatraju se (*Disabled* stanje)

# STP

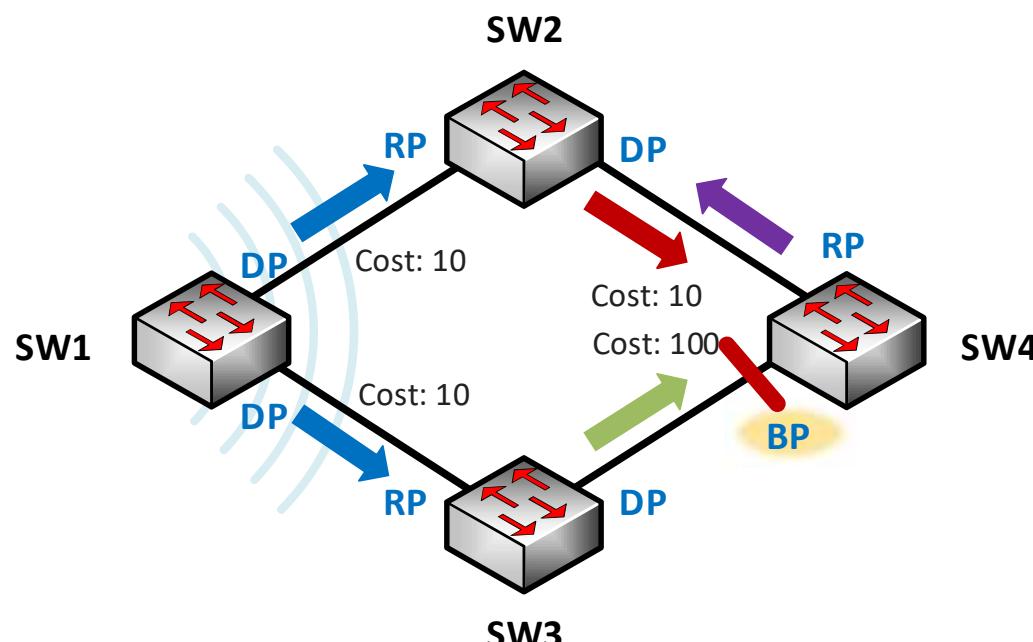
I think that I shall never see  
A graph more lovely than a tree.  
A tree whose crucial property  
Is loop-free connectivity.  
A tree which must be sure to span  
So packets can reach every LAN.  
First the Root must be selected  
By ID it is elected.  
Least cost paths from Root are traced  
In the tree these paths are placed.  
A mesh is made by folks like me  
Then bridges find a spanning tree.

**Radia Perlman, 1985.**



# Stacionarno stanje

- Stacionarno stanje
  - Root svič
    - Emisuje *Configuration BPDU* svake 2 sekund (*Hello tajmer*)
  - Ostali svičevi
    - Na svoje RP primaju *Configuration BPDU*
    - Na sve svoje DP reemituju *BPDU* poruku sa dva izmenjena polja:  
*ID pošiljaoca* i *Path Cost* (*Root Bridge ID* ostaje isti)
    - Tretiraju se kao nove poruke, ali koje originalno potiču od *Root* sviča



# STP konvergencija

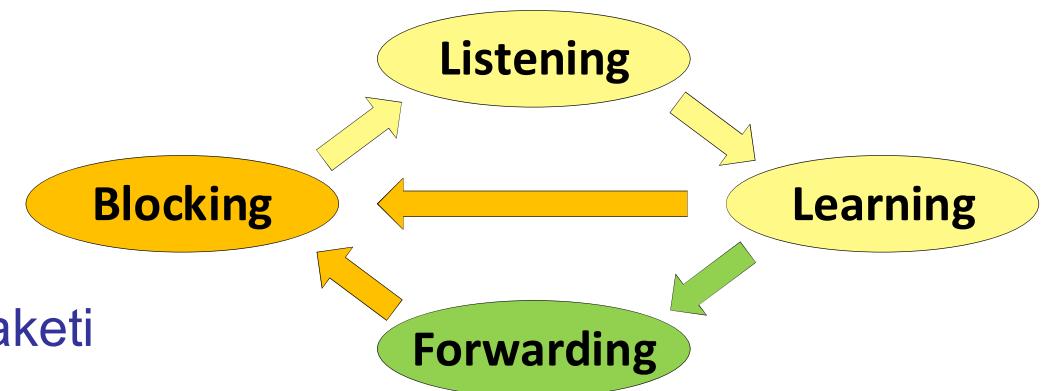
- Promena topologije – promena stanja STP – „konvergencija“
  - Prekid ili dodavanje novih veza
- Osnovni problem:
  - Sprečavanje privremenih petlji tokom konvergencije
- Prelazak iz *Forwarding* u *Blocking* stanje - trenutno
  - Čim se detektuje potreba – *Path Cost* na tom portu više nije najbolji
- Prelazak iz *Blocking* u *Forwarding* stanje - postepeno
  - Na portu pristiže najbolja vrednost polja *Path Cost*
  - Oprezno, kako bi se dalo vremena ostalim svičevima da konvergiraju
  - Da se eliminiše mogućnost nastajanja petlji tokom konvergencije

# STP tajmerи

- **Hello** tajmer
  - Period oglašavanja *Configuration BPDU* poruka od strane *Root* bridža
  - **2 sek**
- **Max Age** tajmer
  - U slučaju da svič više ne prima *BPDU* poruke, vreme čekanja dok se ne pokrene novi proces uspostavljanja STP topologije
  - **10 x Hello** period
- **Forward Delay**
  - Vreme čekanja koje se dodatno uvodi kako bi se osiguralo da propagiraju sve informacije u sve delove mreže, kako bi se izbegle eventualne petlje tokom konvergencije
  - **15 sek**
- Tajmeri se oglašavaju u *Configuration BPDU* porukama
  - Moraju da budu usaglašeni u celoj mreži (iste vrednosti na svim svičevima)

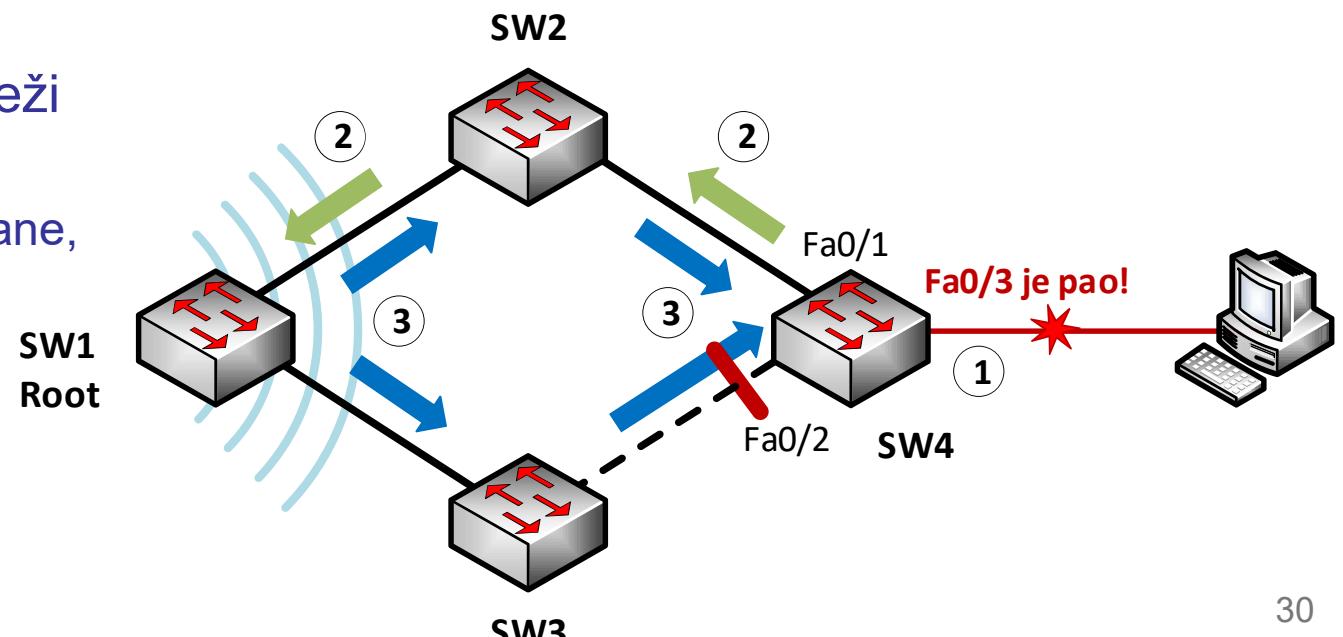
# STP stanja portova

- Stanje portova:
  - **Blocking state**
    - Ne prenose se okviri sa podacima
    - Prihvataju se samo ulazni BPDU paketi
  - **Listening state**
    - Privremeno (tranziciono) stanje - 15 sek (*Forward Delay* tajmer)
    - Ne prenose se okviri sa podacima
    - **Počinju i da se šalju samo BPDU paketi**
    - računa se STP parametri – cena od root sviča, RP, DP
  - **Learning state**
    - Privremeno (tranziciono) stanje - 15 sek (*Forward Delay* tajmer)
    - **Prihvataju se okviri sa podacima, ali se oni ne prosleđuju (odbacuju se)**
      - Svič počinje da uči MAC adrese i formira validnu bridžing tabelu
      - Izbegava se previše fladinga nakon aktivacije porta
  - **Forwarding state**
    - Prenose se svi okviri u oba smera



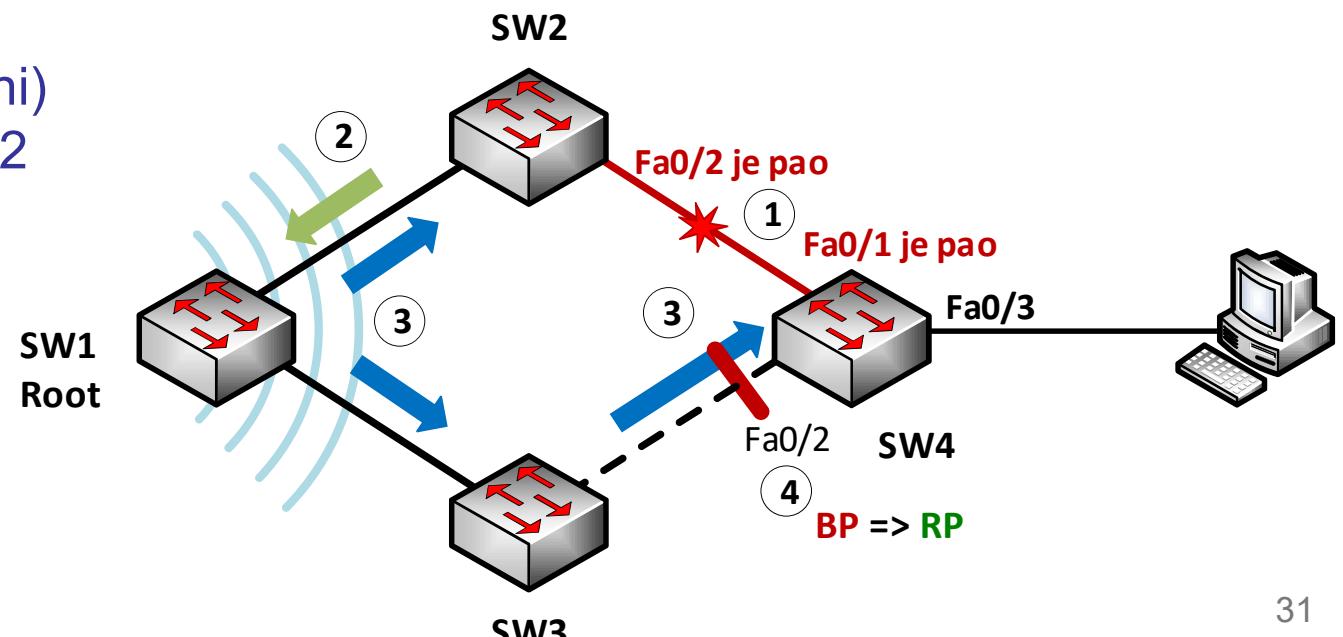
# STP konvergencija

- Prekid na vezama krajnjih uređaja (access links)
  - Svičevi inicijalno sve portove tretiraju na isti način i štite se od petlji
    - (1) SW4 detektuje promenu stanja (prekid veze na portu Fa0/3)
    - (2) SW4 šalje TCN BPDU poruku (*Topology Change Notification*) na RP, koju ostali svičevi prenose do Root sviča
    - (3) Root svič prima TCN BPDU i šalje Configuration BPDU poruku sa TCN flegom
  - Svi svičevi detektuju TCN fleg i preračunavaju stanje portova, uključujući i SW4, koji učitava BPDU na blokiranom portu Fa0/2
  - Svi svičevi smanjuju *Aging* vreme u bridžing tabelama na 15 sek (obrisaće se stariji podaci jer možda nisu više tačni)
- Nema konvergenjce – Stanja ostalih portova u mreži je nepromenjeno
  - Neke MAC adrese su izbrisane, povećan *flooding*



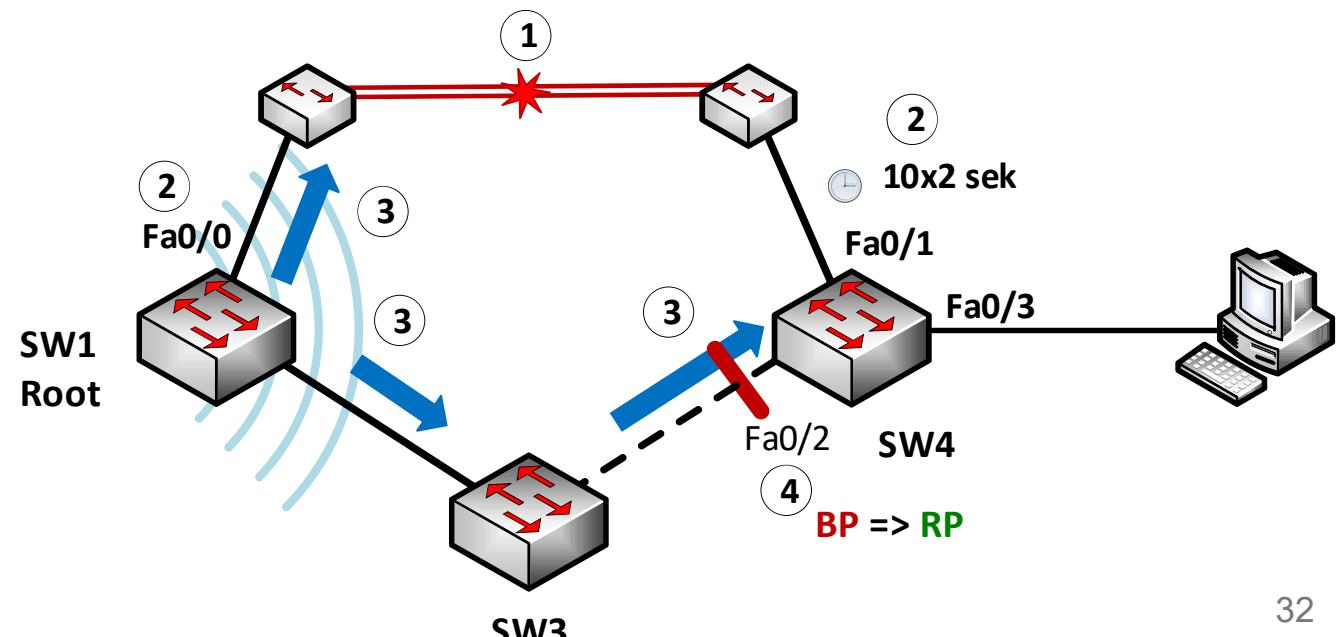
# STP konvergencija

- Prekid na direktnim vezama između svičeva
  - Svičevi detektuju na svojim portovima (L1 nivo)
    - (1) SW4 detektuje promenu stanja na portu Fa0/1 (prekid veze)  
SW2 detektuje promenu stanja na port Fa0/2 (prekid veze)
    - (2) SW4 treba da pošalje TCN BPDU poruku, ali ne može jer je RP u prekidu  
SW2 šalje TCN BPDU poruku na RP, koja se prenosi do Root sviča
    - (3) Root svič prima TCN BPDU i šalje Configuration BPDU poruku sa TCN flegom
      - Svi svičevi detektuju TCN fleg i preračunavaju stanje portova, uključujući i SW4, koji učitava BPDU na blokiranim portu Fa0/2
      - Svi svičevi smanjuju Aging vreme u bridžing tabelama na 15 sek (obrisaće se stariji podaci jer možda nisu više tačni)
  - (4) SW4 detektuje bolji (jedini)  
*Path Cost* na portu Fa0/2
    - Listening stanje – 15 sek
    - Learning stanje – 15 sekFa0/2 postaje RP
- Konvergencija
  - 30 sek



# STP konvergencija

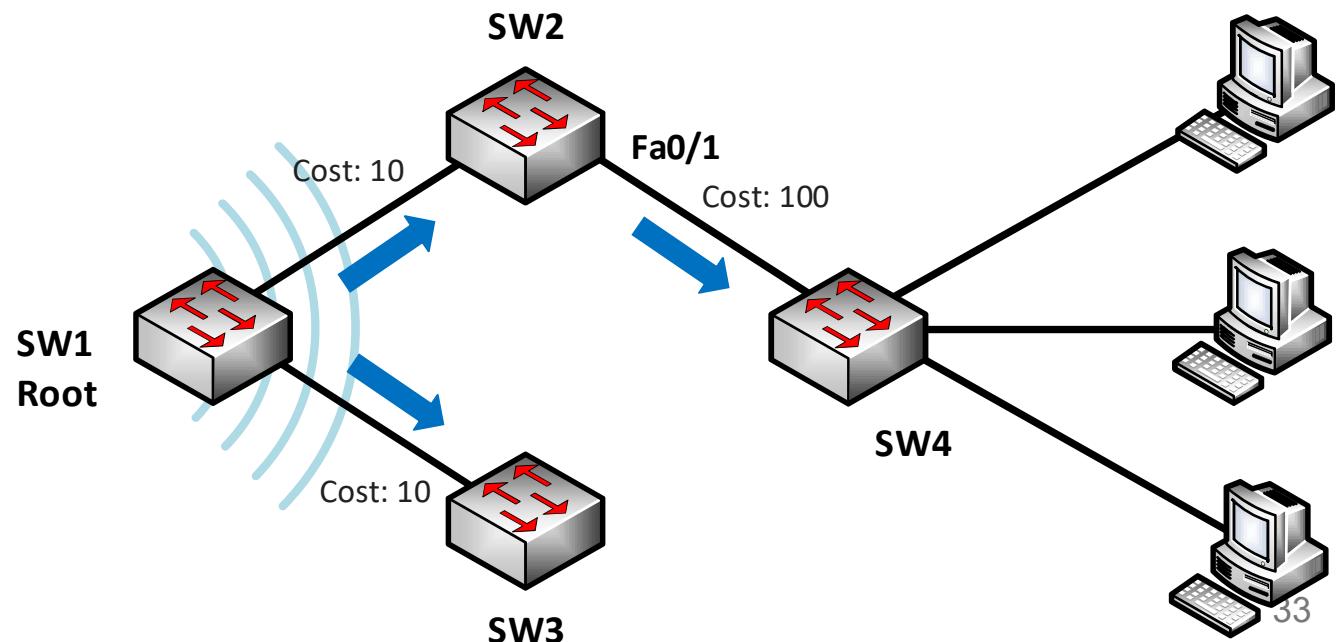
- Prekid na indirektnim vezama između svičeva
  - Svičevi su povezani preko L1 uređaja (npr. habovi i medija-konvertori na optiku)
  - (1) Prekid na indirektnoj vezi ne može da se detektuju na portovima svičeva
  - (2) SW4 detektuje prekid po izostanku 10 BPDU poruka –  $10 \times 2 \text{ sek} = 20 \text{ sek}$   
SW4 treba da pošalje TCN BPDU poruku, ali ne može jer je RP u prekidu
  - (3) Root svič nastavlja da oglašava *Configuration BPDU* poruke na 2 sek  
SW4 učitava *Configuration BPDU* na blokiranim portu Fa0/2
  - (4) SW4 detektuje bolji (jedini) *Path Cost* na portu Fa0/2
    - *Listening* stanje – 15 sek
    - *Learning* stanje – 15 sekFa0/2 postaje RP
- Konvergencija
  - 50 sek



# STP konvergencija

- **Primer dodavanja nove veze**

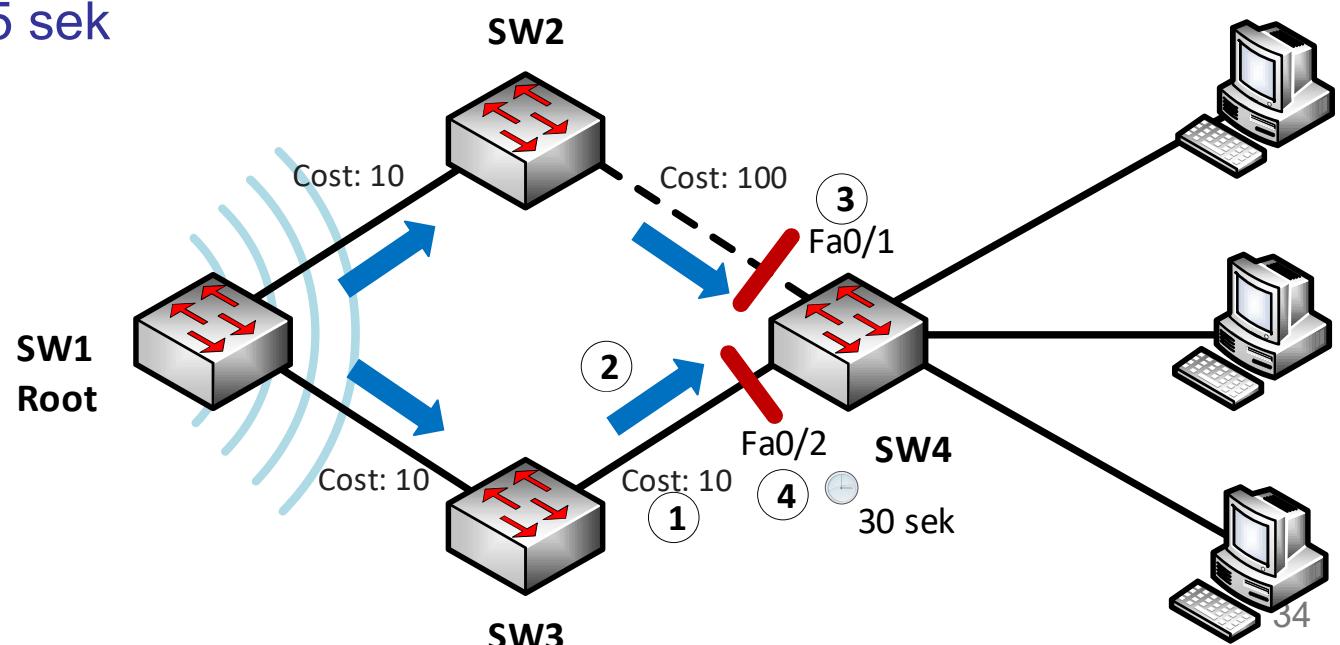
- Inicijalno stanje – STP stablo je uspostavljen
- Root svič šalje Configuration BPDU poruke na 2 sek
- Svi svičevi i korisnici su povezani



# STP konvergencija

- **Primer dodavanja nove veze**

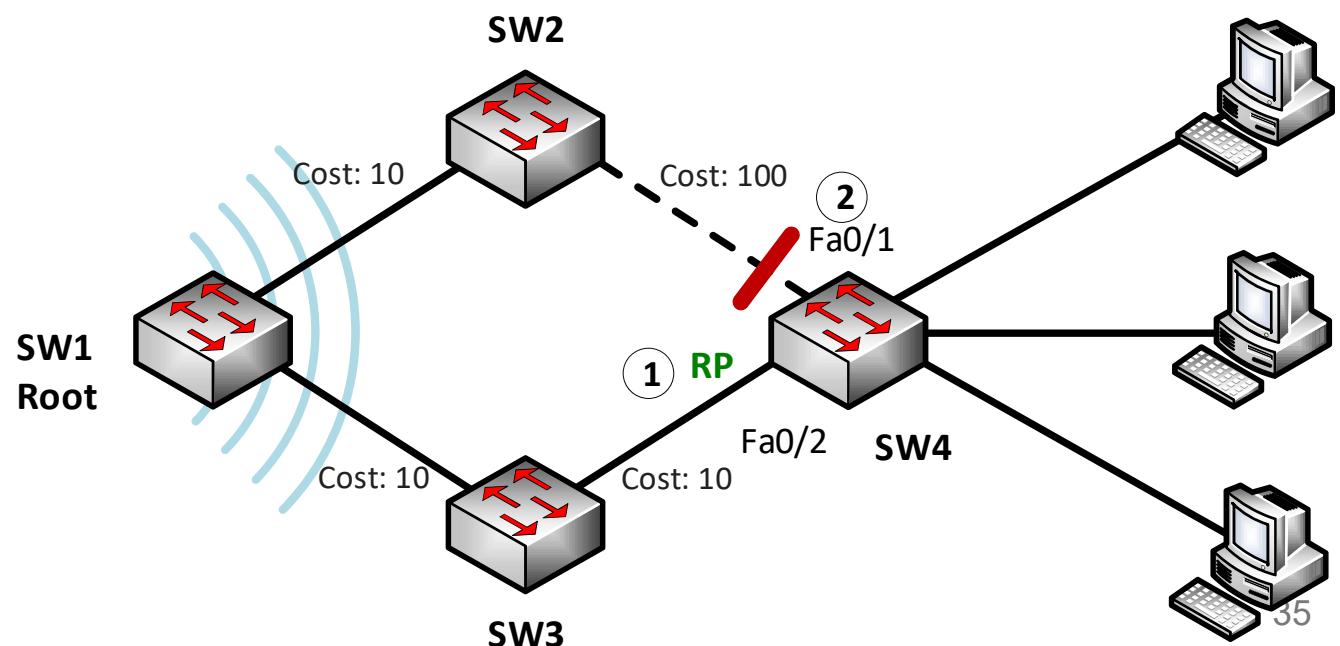
- (1) Dodaje se nova veza između SW3 i SW4, cena je 10
- (2) Configuration BPDU prolazi kroz novu vezu i dolazi do SW4
- (3) SW4 detektuje bolji Path Cost preko nove veze u odnosu na postojeću vezu preko SW2  
Port Fa0/1 (postojeća veza) se momentalno stavlja u blokirano stanje
- (4) Port Fa0/2 (nova veza) iz neaktivnog stanje prelazi u:
  - *Listening* stanje – 15 sek
  - *Learning* stanje – 15 sek



# STP konvergencija

- **Primer dodavanja nove veze**

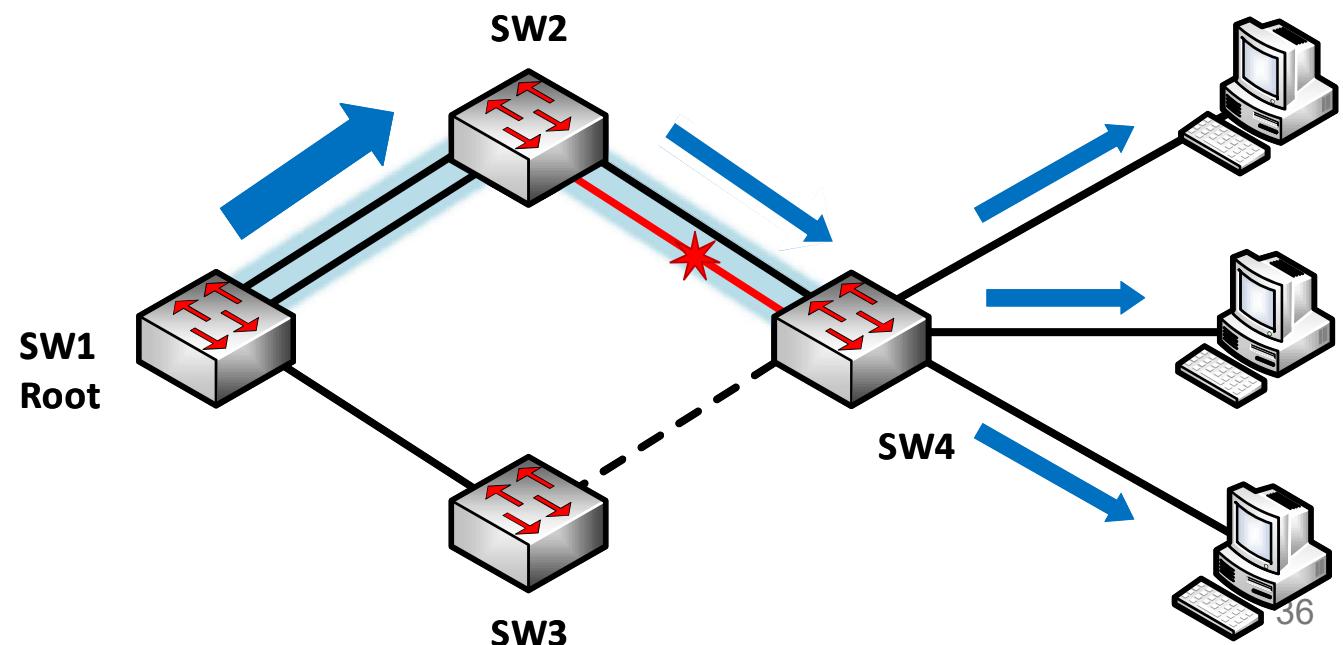
- (1) Nakon isteka 30 sekundi, posle *Listening* i *Learning* stanja port Fa0/2 sviča SW4 postaje RP i prelazi u *Forwarding* stanje
- (2) Port Fa0/1 sviča SW4 ostaje u blokiranom stanju
  - Konvergencija je završena, mreža je povezana
  - Posledica:
    - Svi korisnici povezani na SW4 su 30 sekundi bili odsečeni od ostatka mreže!



# STP i EtherChannel

- **EtherChannel**

- Više paralelnih veza između dva sviča (uređaja) – **jedna logička veza**
  - Povećan kapacitet
  - Otpornost na otkaz pojedine veze
- STP
  - Povećana stabilnost - ako otkaže jedna veza, ne narušava se STP stablo
  - Sve veze moraju da se prekinu, da bi se pokrenula STP kovergencija

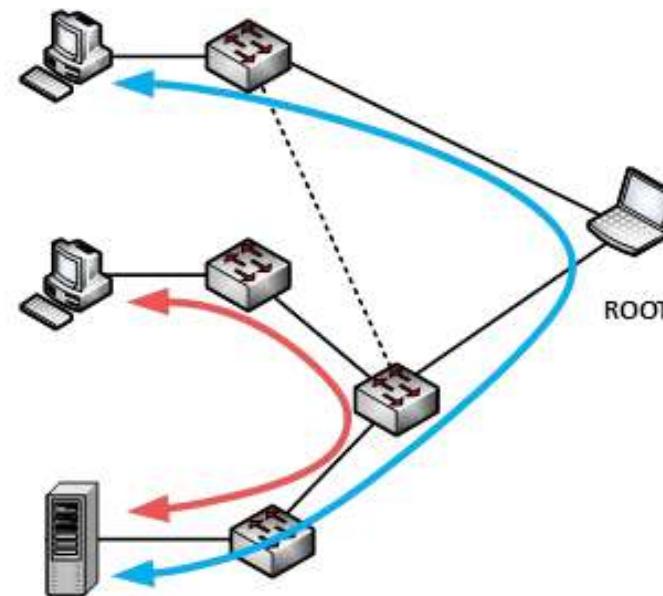
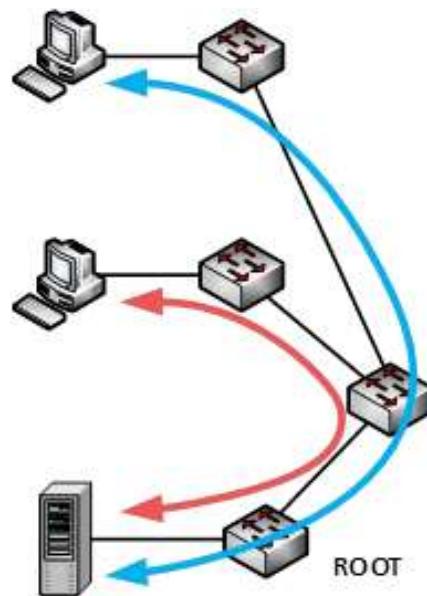


# STP opcije – *PortFast*

- STP se inicijalno sprovodi na svim portovima, čak i na onim na kojima nisu povezani svičevi, već drugi uređaji – pristupni portovi (access)
- Kada se uključi krajnji uređaj (npr. računar), na tom portu sviča dolazi do konvergencije:
  - Ulazi se *Listening* i *Learning* stanje
  - Uređaj može da čeka 30 sek da bi se zaštitili od petlji – nepotrebno !
- ***PortFast***
  - Konfiguriše se na pristupnim portovima da se odmah pređe u *forwarding* stanje
  - Na ovom portovima se ne generiše TCN BPDU
  - Postavljamo samo kada smo sigurni da nema petlji i neće ih biti u buduće
  - Ako se na port sa uključenom *PortFast* opcijom ipak poveže svič:
    - STP će početi da funkcioniše
    - Preskače Listnening i Lerning stanje - ne štit se dovoljno dobro od mogućih petlji
    - Problem su privremene petlje koje mogu da nastanu tokom konvergencije

# STP opcije - Security

- Scenario:
  - Napadač poveže svoj lap-top na druga dva sviča
  - Lap-top sprovodi funkciju sviča, sa postavljenim najboljim prioritetom i postane *root* svič
  - Neoptimalna struktura stabla van kontrole administratora
  - Kroz lap-top (*root* svič) prolaz veći deo saobraćaja, koji se može prislушкиvati – npr. otkrivanje lozinki

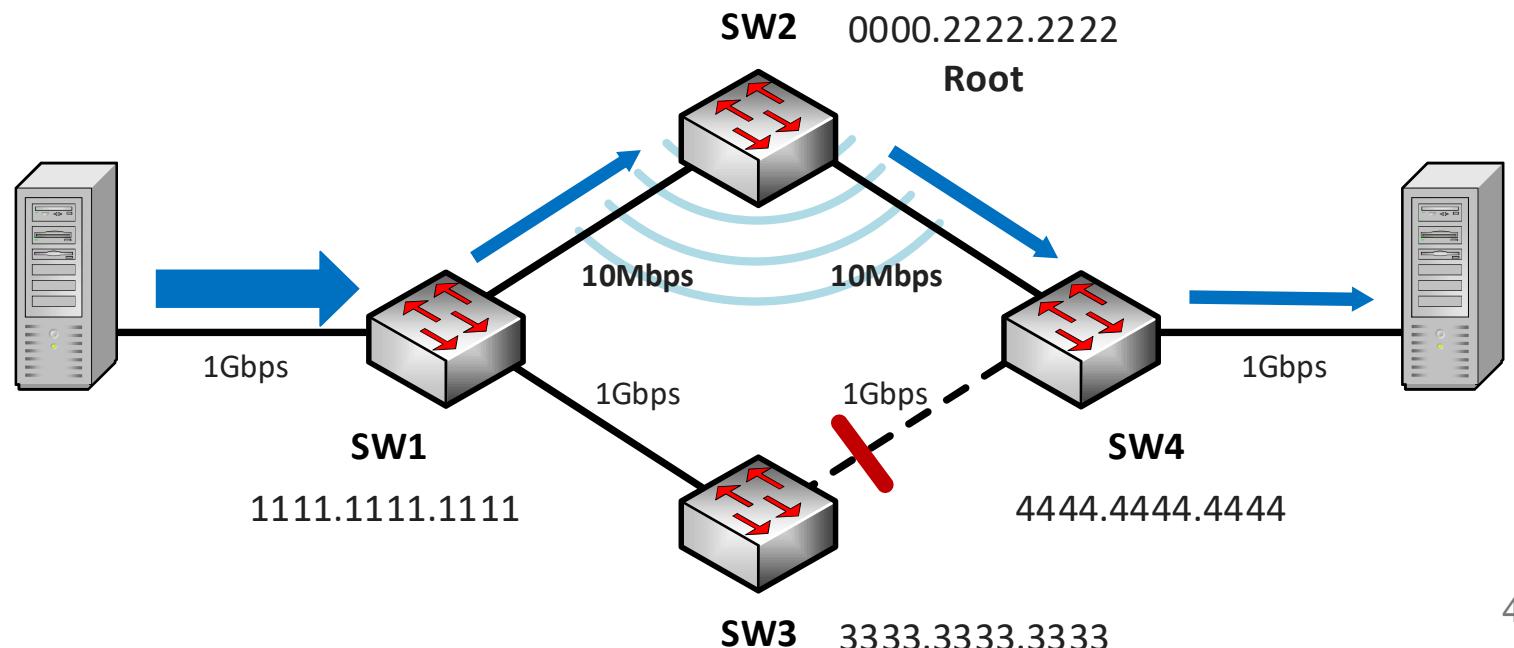


# STP opcije - *Security*

- Zaštita:
  - *BPDU Guard*
    - Na pristupnim (access) portovima se ne očekuju BPDU okviri
    - Port se stavlja zabranjuje (*disabling*) ako se na njega prime BPDU okviri
    - Port se aktivira kada prestane da prima BPDU okvire
    - Primjenjuje se u paru sa *PortFast* tehnikom
  - *Root Guard*
    - Na portu se dozvoljava prijem BPDU okvira, ali se zabranjuje prijem BPDU okvira sa boljom *Bridge ID* vrednošću
    - Sprečava se da se na tom portu javi bolji kandidat za *root* svič

# STP - osnovni problemi

- Spora konvergencija
  - Do 50 sekundi – osnovni problem !
- Nema *load-balancing-a*
  - Koristi se samo jedan link, druge veze su blokirane
- Neoptimalne putanje saobraćaja
  - Ako se ne postavi prioritet u *bridge ID*, *root* će biti svič sa najmanjom MAC adresom



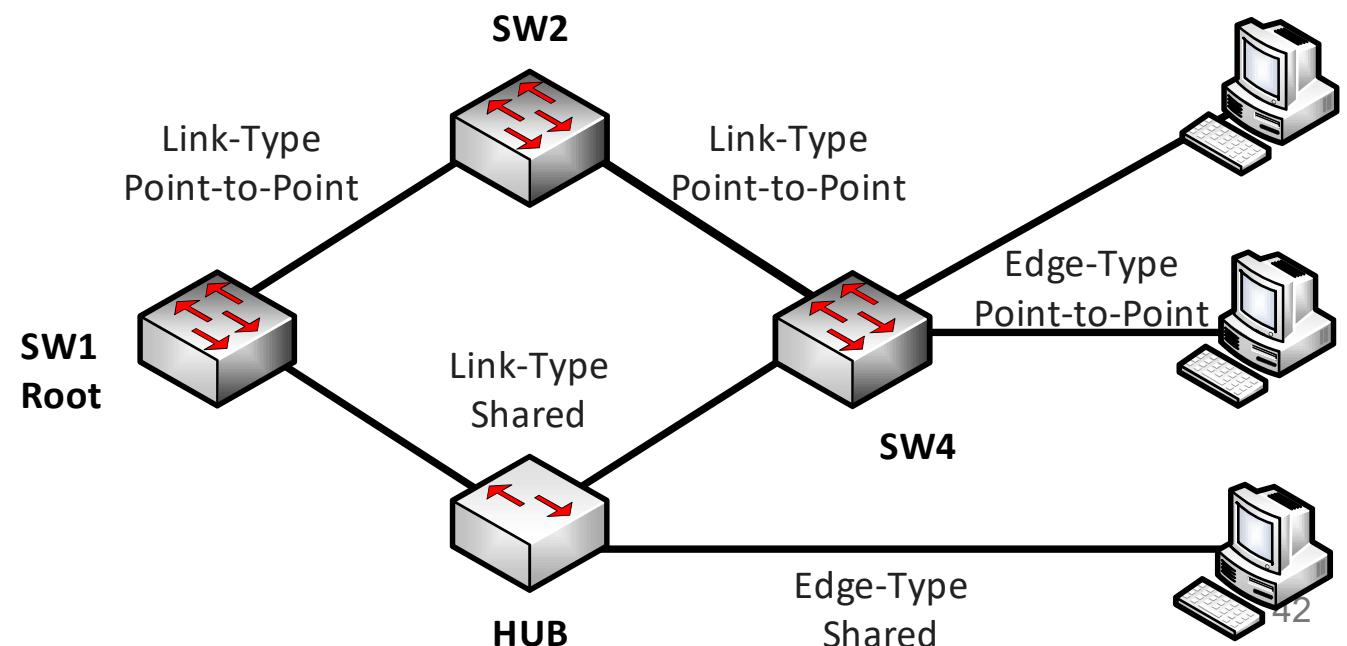
# RSTP - *Rapid Spanning Tree Protocol*

- Novi protokol – IEEE 802.1w
  - Sličan STP, ali unapređena verzija
  - Ubrzava STP konvergenciju
- Novi koncepti:
  - Različiti tipovi veza (*link type, edge type*)
  - Nove vrste portova (*alternate, backup*)
  - Redefinisano stanje portova (izbačeno *Listening* stanje)
- Port cost: 20Tbps/bandwidth

Brzina	IEEE Cost	Revidirani IEEE Cost	RSTP
10 Mbps	100	100	2.000.000
100 Mbps	10	19	200.000
1 Gbps	1	4	20.000
10 Gbps	1	2	2.000

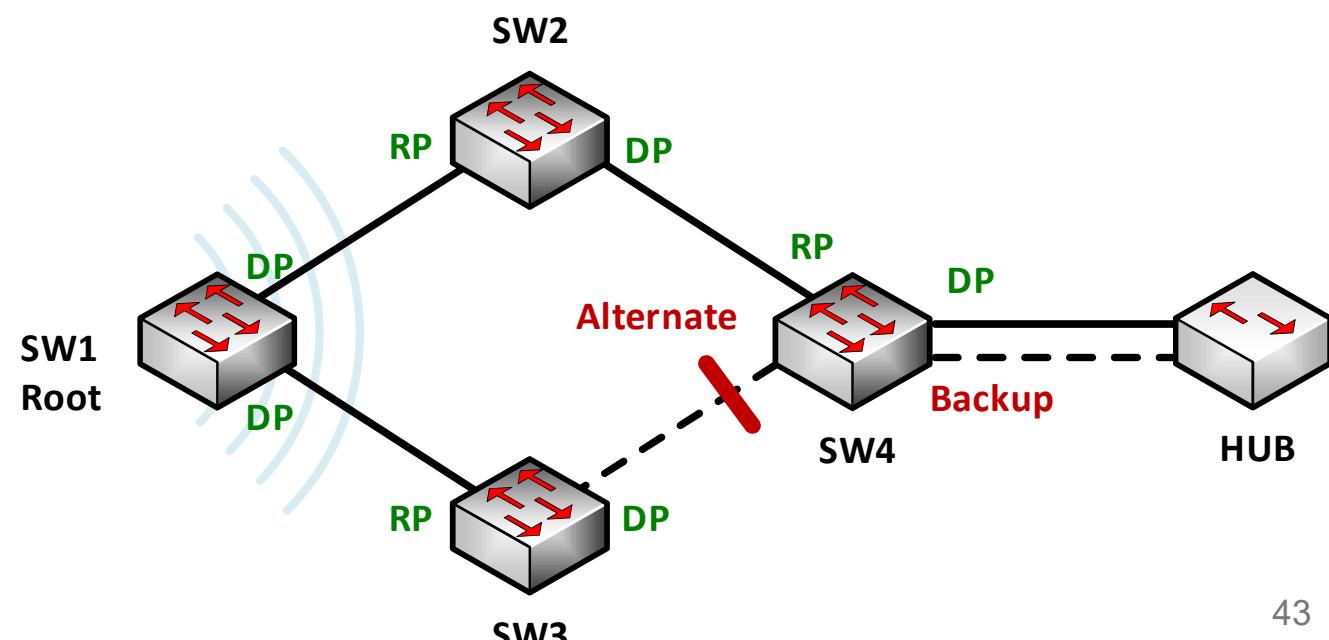
# RSTP – tipovi veza

- *Edge Type* – veze između sviča i krajnjih uređaja (hostova)
- *Link type* – veze između svičeva
  - *Point-to-Point* – direktnе veze između svičeva
  - *Shared* – veza preko deljenog segmenta (haba)



# RSTP – nove vrste portova

- Na isti način se vrši izbor RP i DP
- *Alternate* port
  - Blokiran port, najbolji posle RP
  - Alternativa (zamena) za RP - spremjan da preuzme ulogu RP u slučaju da RP prestane da dobija *BPDU* poruke sa najmanjim *Path Cost*
- *Backup* port
  - Specijalan i ekstremno redak slučaj - kada je svih povezani sa više veza na hab
  - Blokiran port, najbolji posle DP - Alternativni (zamena) za DP

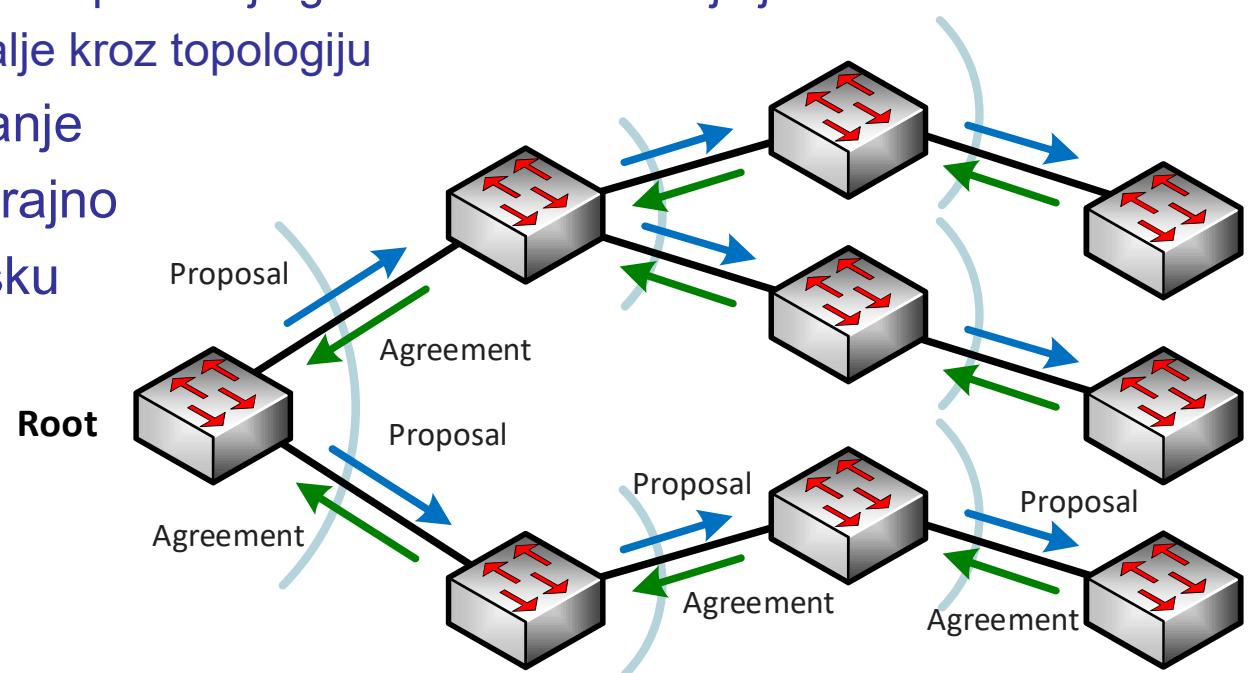


# RSTP kovergencija

- Promena topologije
  - Prekid pojedinih veza - prestanak pristizanja *BPDU* paketa
  - Dodavanje veza – generišu se novi *BPDU* paketi
- RSTP se različito ponaša u zavisnosti od vrste veze
- ***Edge Type***
  - STP veze do sviča i hostova tretira na isti način kao i veze između svičeva – povezani računar će da prođe kroz proces STP kovergencije od 50 sek.
  - PortFast - portovi na koje su vezani hostovi ne moraju da sprovode *Spanning Tree*, već se konfigurišu da odmah uđu u *Forwarding* stanje
  - RSTP koristi PortFast mehanizam na *Edge Type* vezama
  - Manuelno se konfiguriše na pojedinim portovima
- ***Link Type Shared***
  - RSTP se ponaša isto kao STP

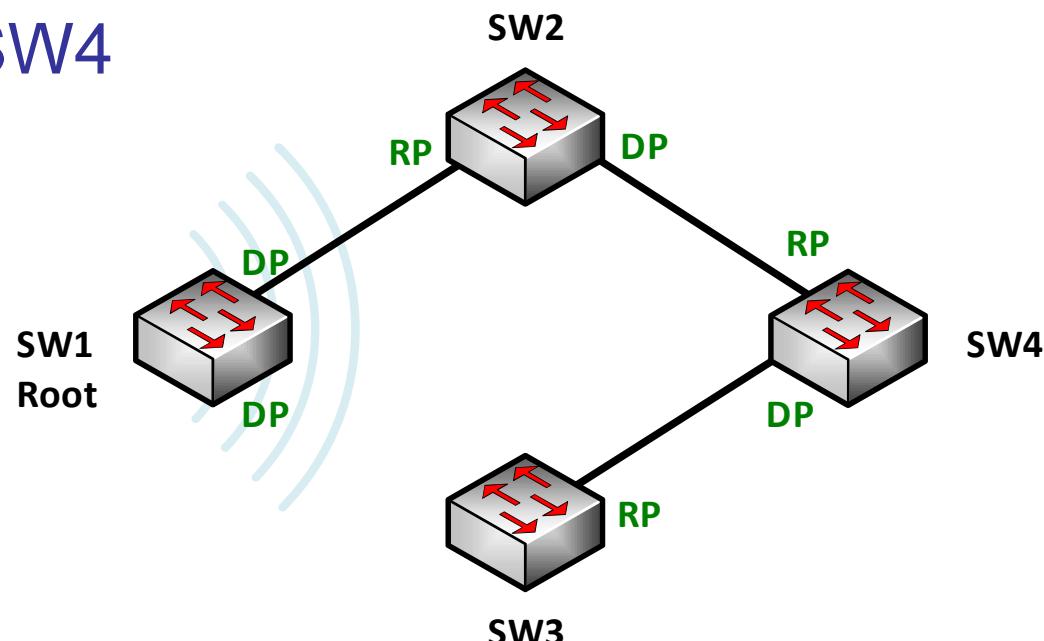
# RSTP konvergencija

- **Link Type Point-to-Point**
  - Unapređenja konvergencije
- **MaxAge**
  - RSTP koristi  $3 \times \text{Hello}$  interval – 6 sekundi
- **Aktivna komunikacija između svičeva tokom procesa konvergencije**
  - Svičevi razmenjuju nove vrste BPDU poruka
    - *Proposal* – BPDU sa setovanim *Proposal* flagom
    - *Agreement* - BPDU kojom se potvrđuje grana u stablu – šalje je RP
    - Ovaj proces se prenosi dalje kroz topologiju
  - Ne koristi se *Listening* stanje
  - *Learning* stanje je kratkotrajno
  - Brzo se odlučuje o prelasku u *Forwarding* stanje
    - Obično za manje od 1 sekunde za sve svičeve u mreži



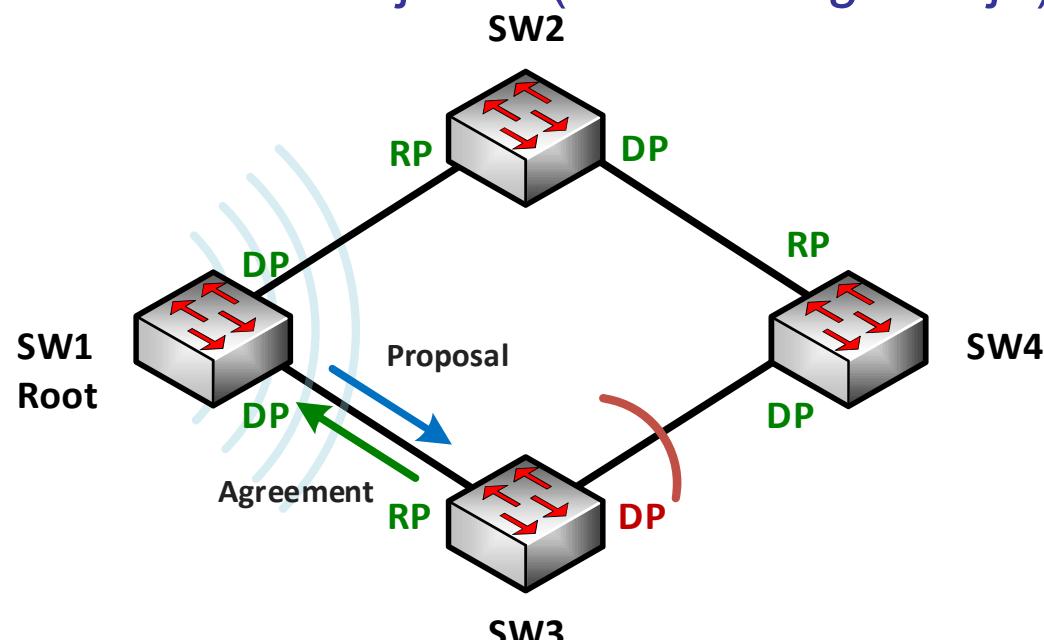
# RSTP primer

- Početno stanje - bez redundantnih veza
- SW1 je *root* svič
- Novo stanje – dodata redundantna veza između SW1 i SW3
- SW1 do SW3 oglašava BPDU sa bolji *Path Cost* nego što oglašava SW4
- Ovaj link treba da se uključi, tj. port da se stavi u *Forwarding* stanje
- Link između SW3 i SW4 treba blokirati



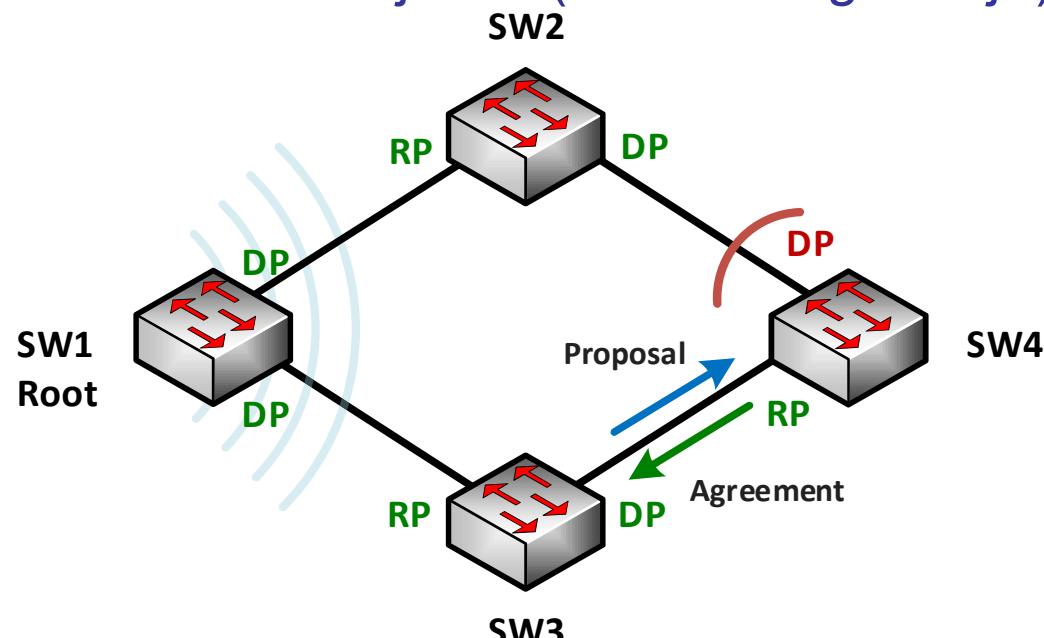
# RSTP primer

- BPDU od SW1 do SW3 ima setovan *Proposal* fleg (*Proposal* poruka)
- SW3 detektuje bolju putanju do *Root* sviča i ulazi u sinhronizaciju
  - Najpre se privremeno blokiraju svi ostali portovi da bi se sprečile petlje (veza između SW3 i SW4)
  - SW3 šalje *Agreement* poruku ka sviču SW1
  - SW1 i SW3 aktiviraju portove na novoj vezi (*Forwarding* stanje)
    - SW1 – DP
    - SW3 – RP



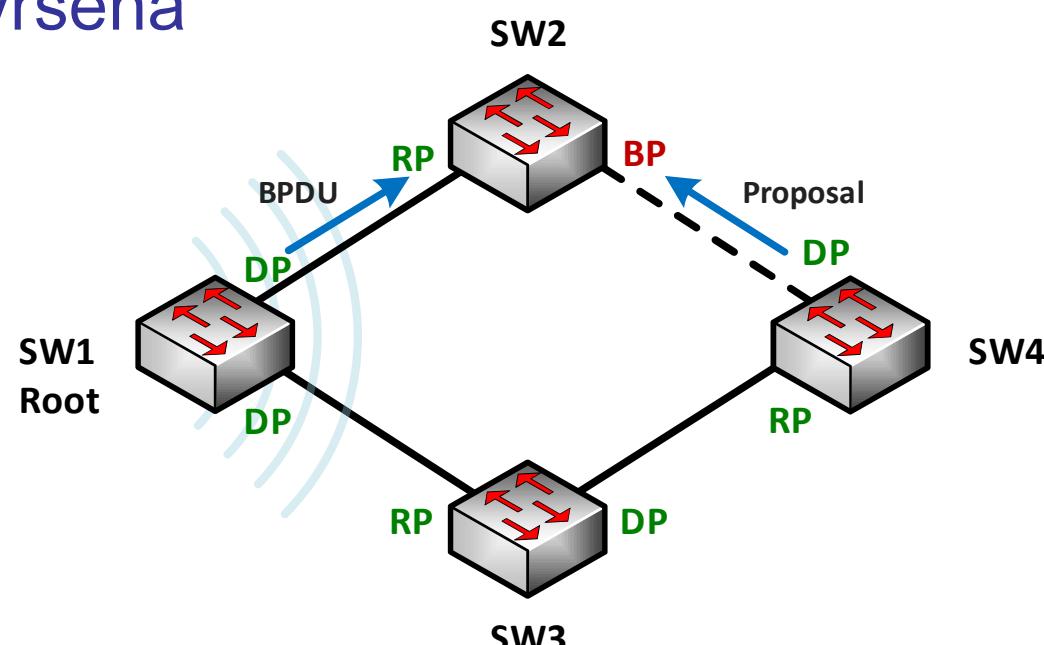
# RSTP primer

- SW3 šalje BPDU od SW4 sa setovanim *Proposal* flegom (*Proposal* poruka)
- SW4 detektuje bolju putanju do *Root* sviča i ulazi u sinhronizaciju
  - Najpre se privremeno blokiraju svi ostali portovi da bi se sprečile petlje (veza između SW4 i SW2)
  - SW4 šalje *Agreement* poruku ka sviču SW3
  - SW3 i SW4 aktiviraju portove na novoj vezi (*Forwarding* stanje)
    - SW3 – DP
    - SW4 – RP



# RSTP primer

- SW4 šalje BPDU od SW2 sa setovanim *Proposal* flegom (*Proposal* poruka)
- SW2 dobija regularnu BPDU do SW1 sa boljim *Path Cost* i radi sledeće:
  - Stavlja port prema SW4 u blokirano stanje
  - Ne šalje *Agreement* poruku za aktivaciju veze prema SW4
  - Port prema SW1 ostaje u RP
- Konvergencija je završena



# Šta radi svič kada pristigne okvir čija odredišna MAC adresa ne postoji u bridžing tabeli?

- Uništava okvir.
- Šalje izmenjen okvir na sve ostale portove.
- Šalje neizmenjen okvir na sve ostale portove.
- Šalje brodcast okvir na sve ostale portove.

✓ 0%

# Koliko root portova (RP) ima rut svič?

- Svi portovi su RP.
- Ni jedna port nije RP. ✓ 0%
- Uvek samo jedan RP, u zavisno od konteksta.
- Proizvoljan broj RP, u zavisno od konteksta.

# Šta je tačno za blokirani port (u kontekstu STP)?

Ne šalje i ne prima ni jedan okvir.

Šalje samo BPDU pakete, a sve ostale odbacuje u oba smera.

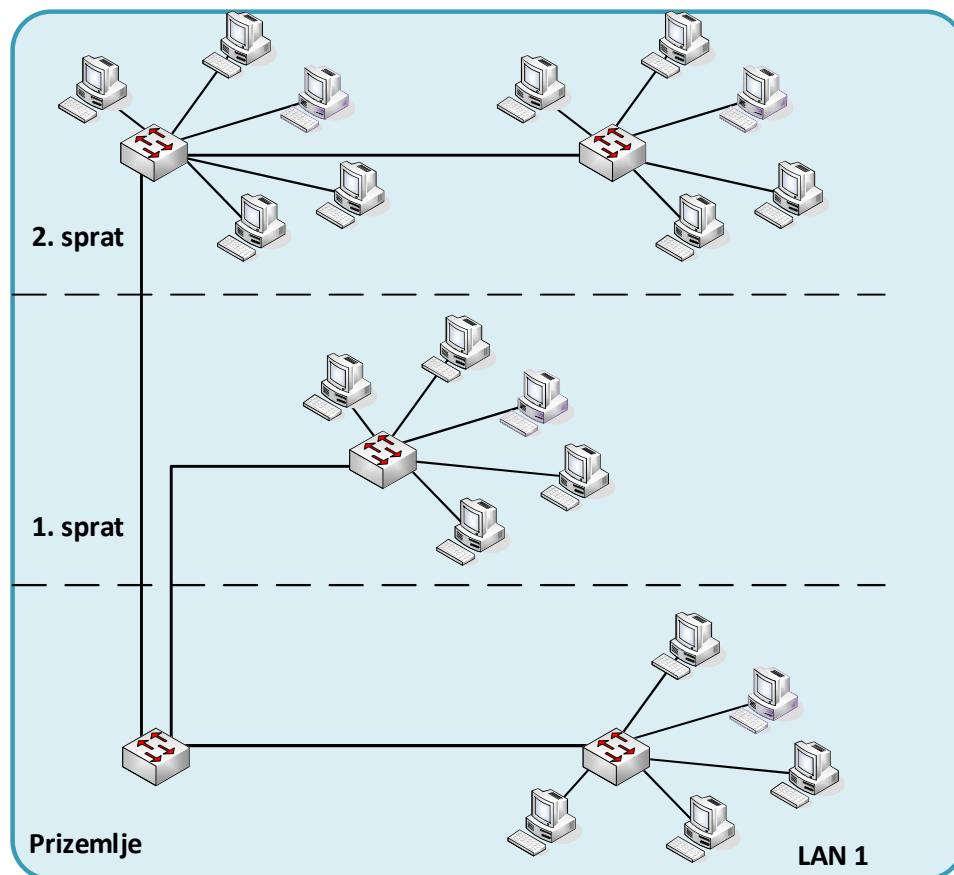
Prima samo BPDU pakete, a sve ostale odbacuje u oba smera.

Prima i šalje samo BPDU okrvire, a sve ostale odbacuje u oba smera.

✓ 0%

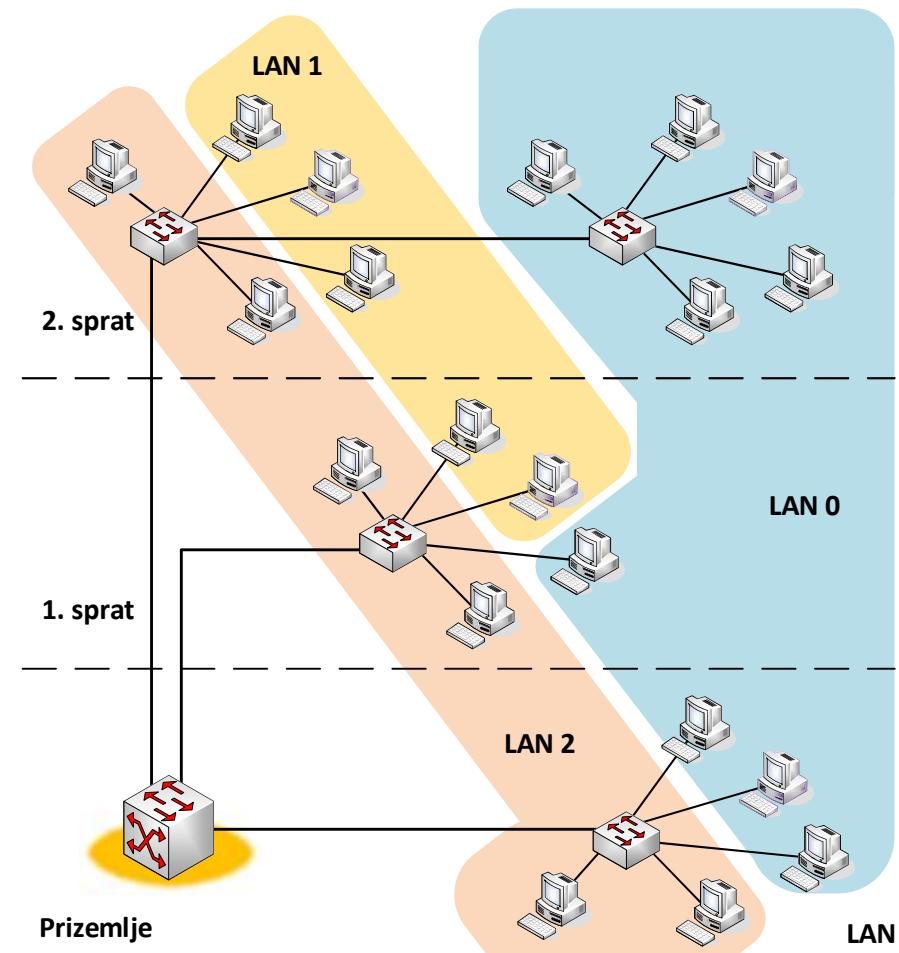
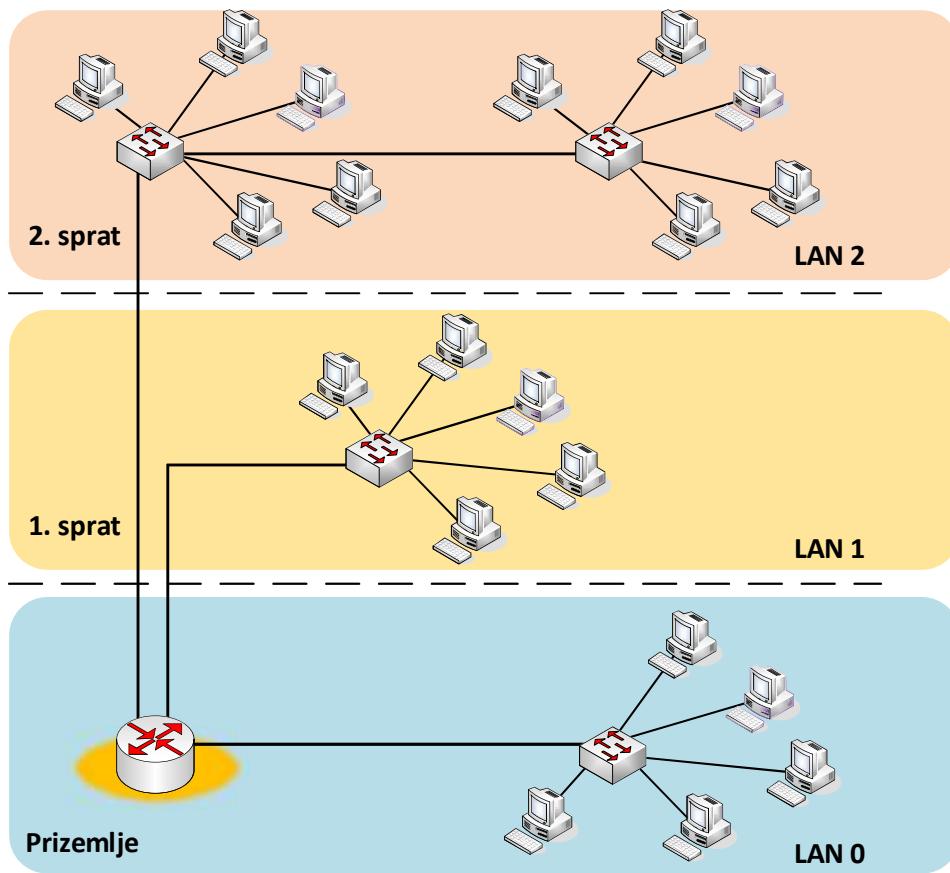
# Današnje LAN mreže

- LAN mreže sa svičevima – jedinstvena mreža na L2 nivou
  - Podržavaju povezivanje velikog broj učesnika – različite logičke grupe
  - Jedan brodcast domen, čak i sa više različitih grupa korisnika
  - Moguće da paketi iz jedne grupe korisnika dospeju do uređaja koji pripada korisniku druge grupe – npr. poslovna komunikacija se meša sa javnom



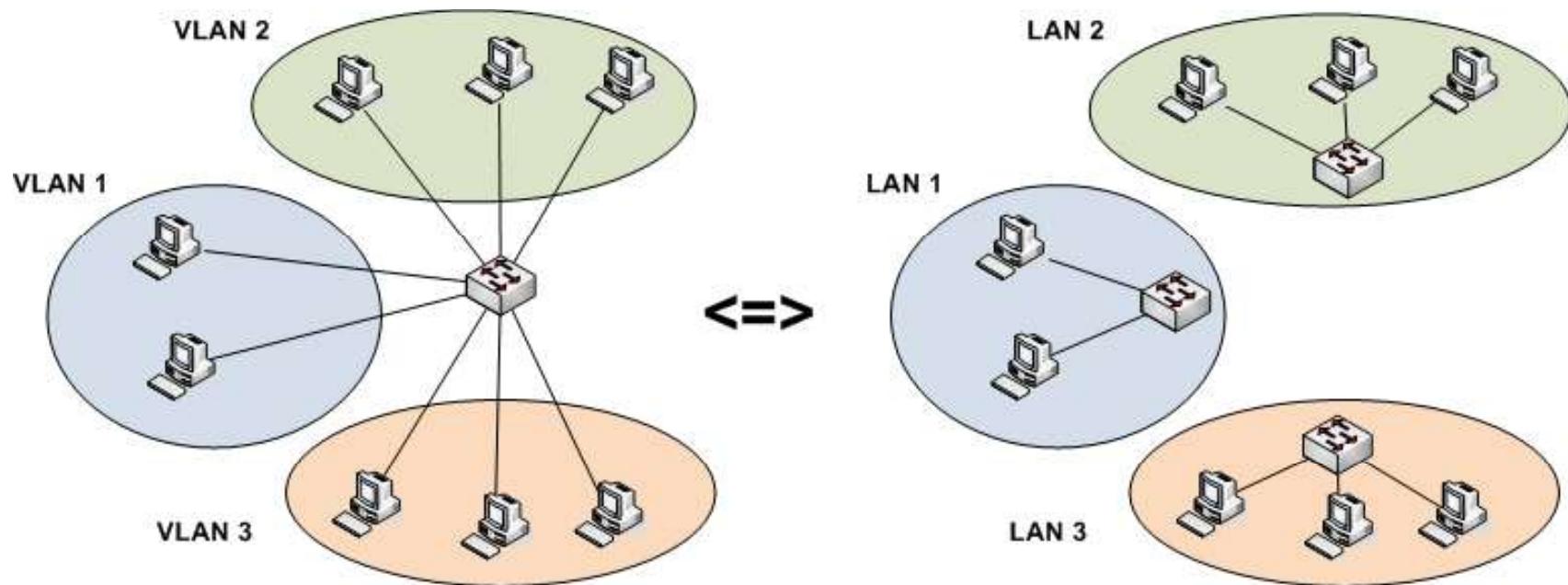
# Današnje LAN mreže

- Ruteri razdvajaju mrežu na više L2 segmenata - grupisano prema zajedničkoj nameni
  - Primer fakulteta: studentska služba, računovodstvo, kabineti, laboratorije
  - **Fizički** – tradicionalno grupisanje povezivanjem na posebne svičeve
  - **Virtualno** – pridruživanje uređaja u logičke grupe nezavisno od fizičke povezanosti



# VLAN – Virtualni LAN

- VLAN – *Virtual Local Area Network*
  - Logički deli fizičku LAN mrežu na nezavisne logičke LAN mreže
  - **Funkcionalno potpuno ekvivalentno kao fizičke LAN mreže**

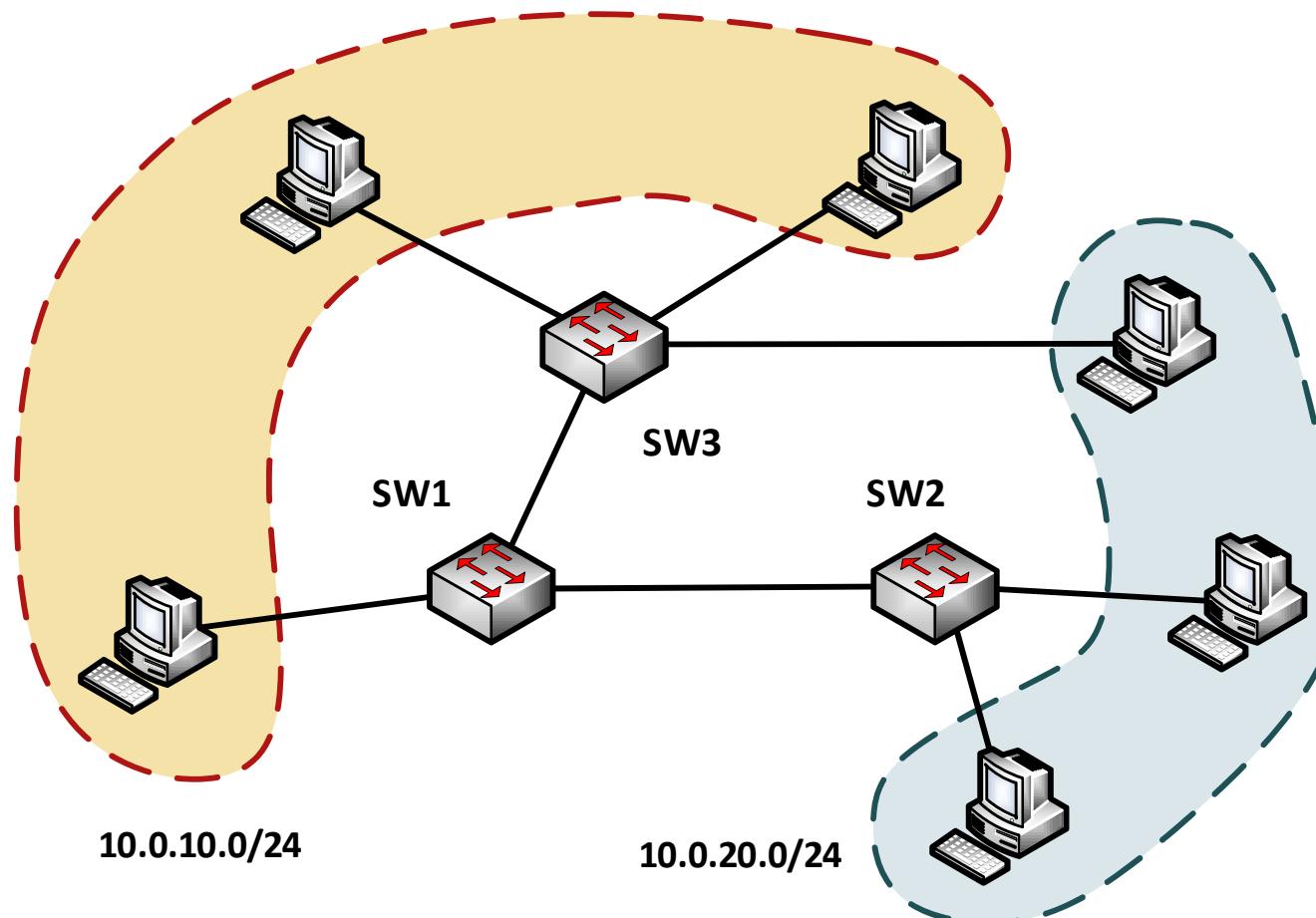


# VLAN – Virtualni LAN

- Konfiguriranje VLAN-ova se vrši na svičevima, softverski
  - Odgovarajući port sviča se postavlja u odgovarajući VLAN
- Statički:
  - Određeni port sviča se pridružuje nekom VLAN-u prilikom konfiguriranja
  - Više administrativnog posla, ali jednostavnije praćenje
- Dinamički:
  - Na osnovu nekog parametra paketa saobraćaj se svrstava u određeni VLAN (MAC adresa, IP adresa,...)
  - Obično se konfiguriše nekim specijalizovanim softverom
- VLAN-ovi omogućavaju
  - Fleksibilnost
  - Skalabilnost
  - Sigurnost
  - Po cenu malo veće složenosti i više administrativnog rada

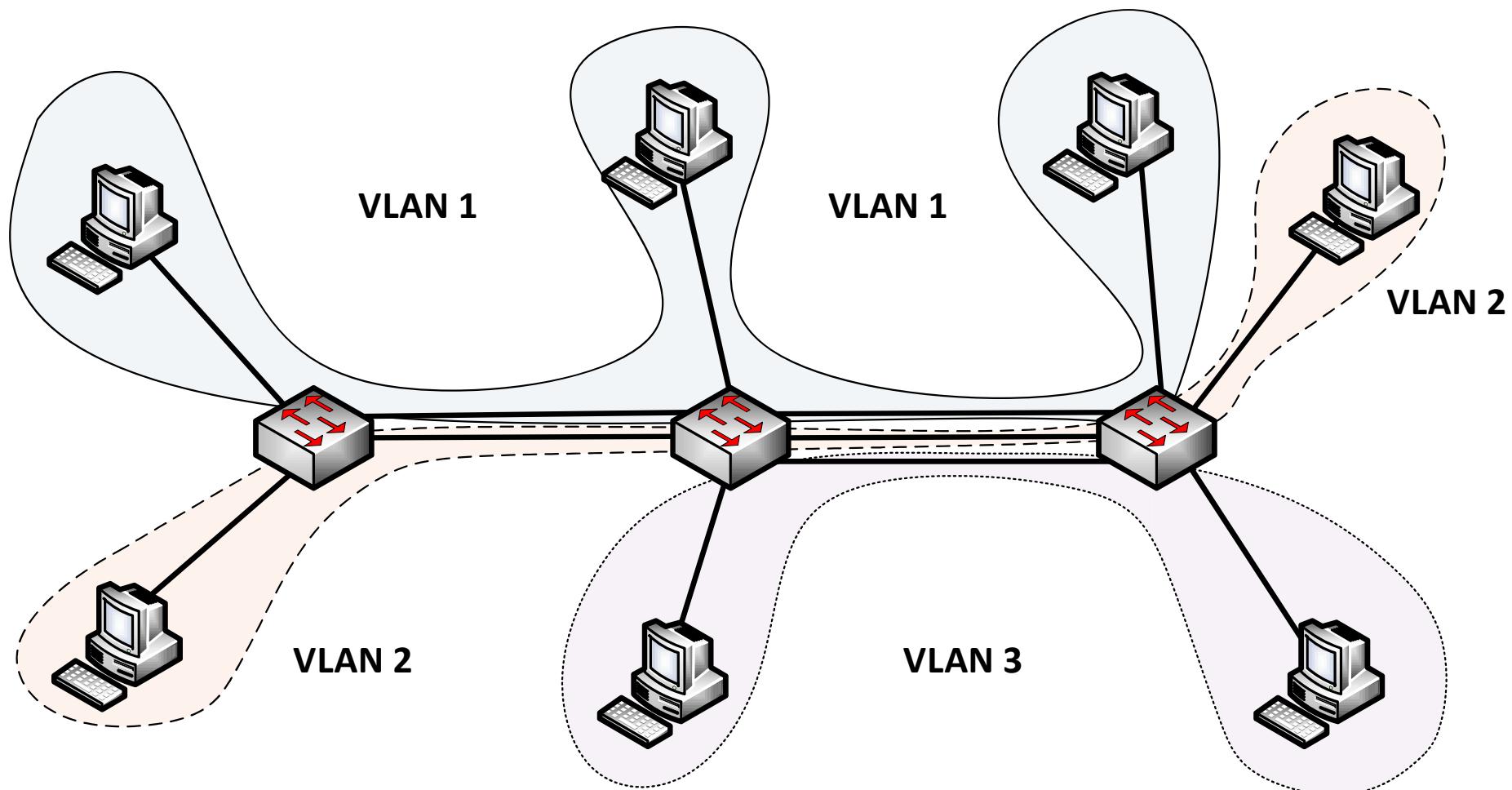
# VLAN – Virtualni LAN

- Problem je kada su VLAN-i rasprostranjeni na više svičeva



# Povezivanje VLAN-ova sa više svičeva

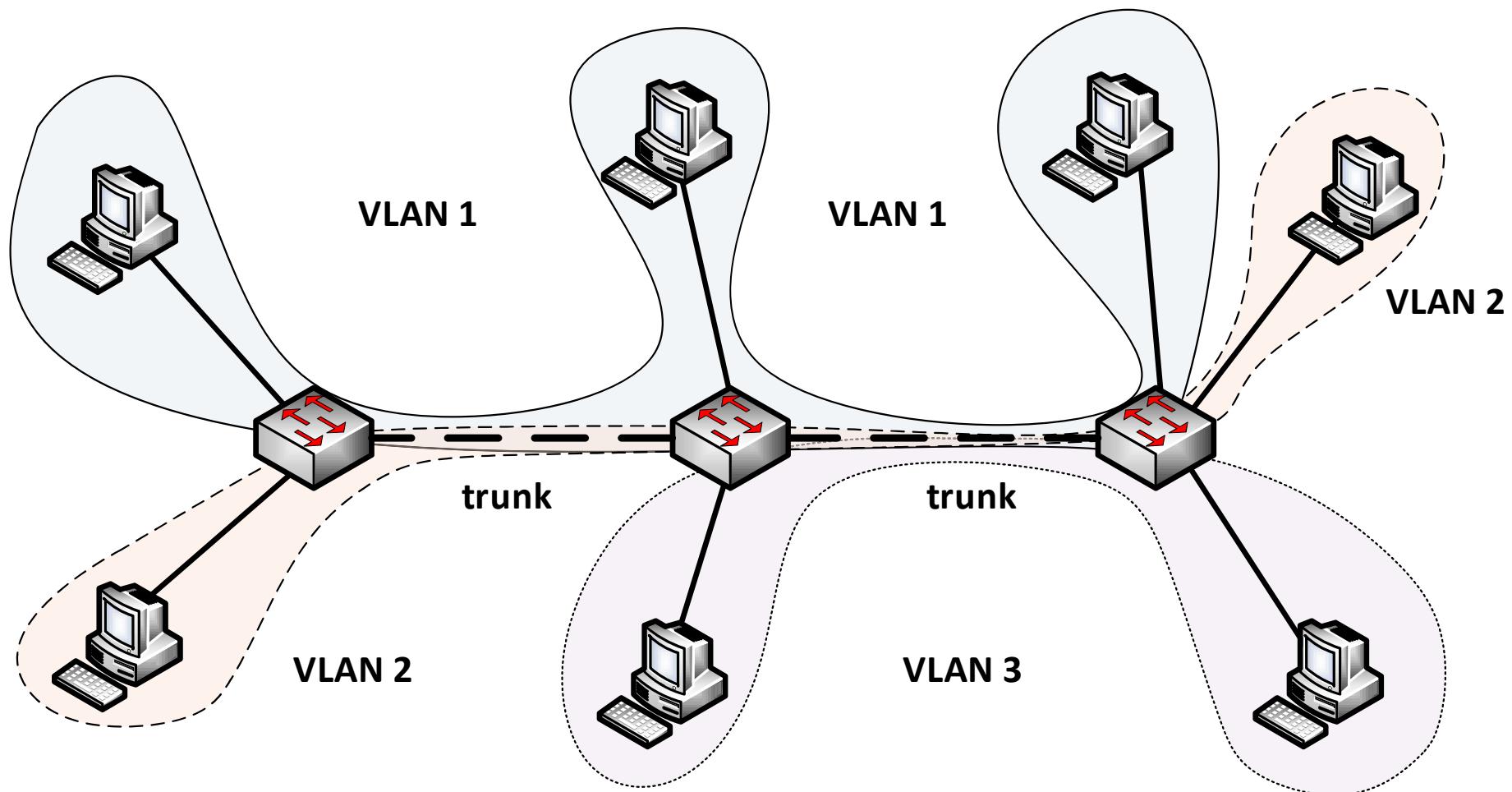
- Klasično rešene - za svaki VLAN posebna veza
  - Neskalabilno
  - Skupo – troše se portovi



# Povezivanje VLAN-ova sa više svičeva

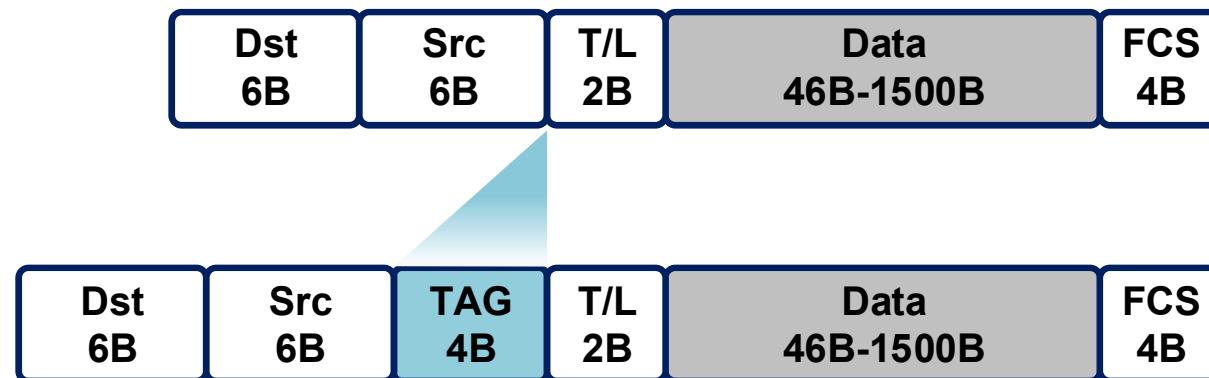
- *Trunk link*

Zajednička veza za sve *VLAN*-ove - *Trunk link*



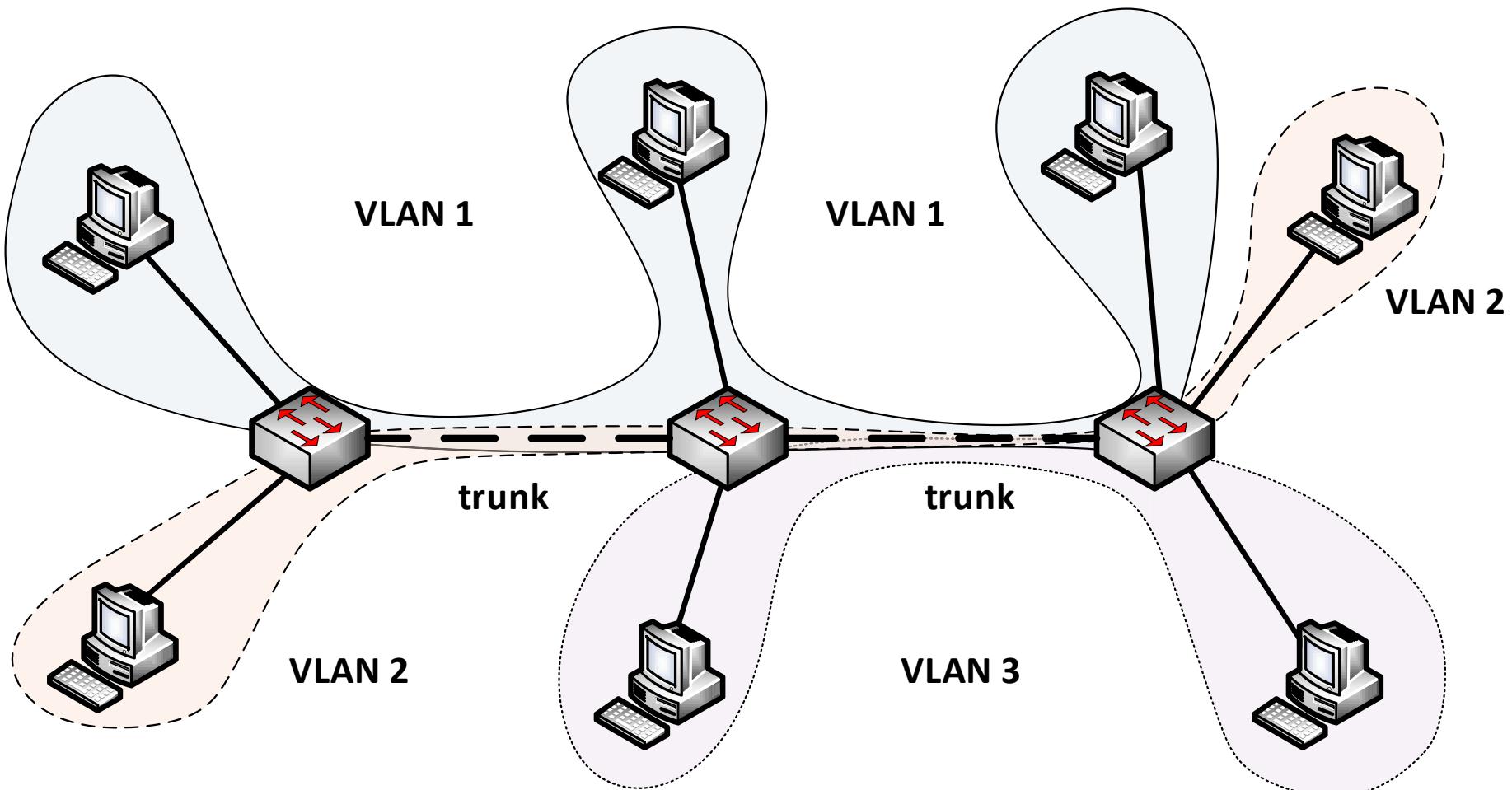
# VLAN Frame Tagging

- VLAN Frame Tagging – IEEE 802.1Q standard
  - Na trank vezama u Ethernet zaglavlje se dodaje 4 bajta
  - 12 bita označavaju identifikaciju VLAN-a (VLAN ID)
- VLAN ID - vrednosti od 0 do 4095
  - Neke vrednosti mogu da budu rezervisane - 0, 1, 4095
- Primjenjuje se samo na trank vezama
  - Između dva sviča
  - Između sviča i rutera
  - Između sviča i servera



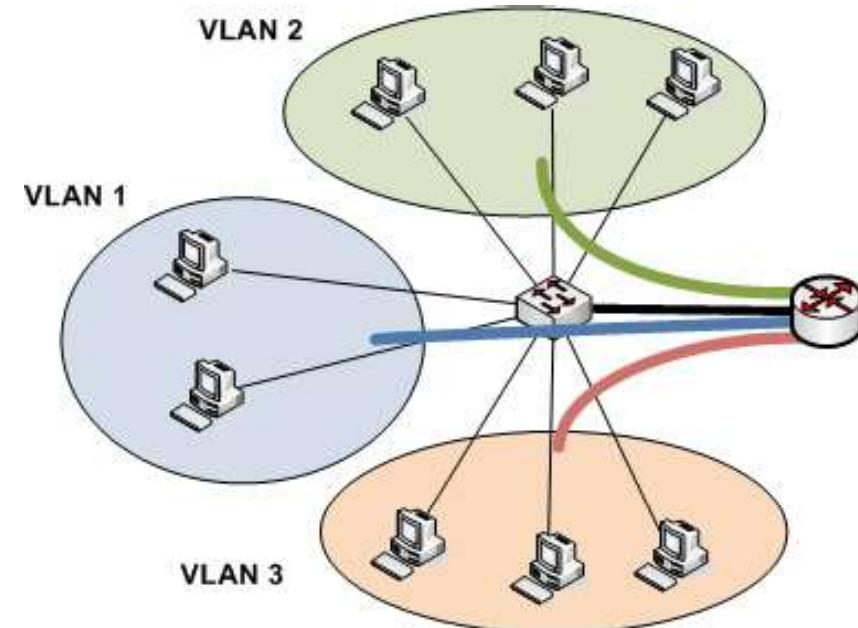
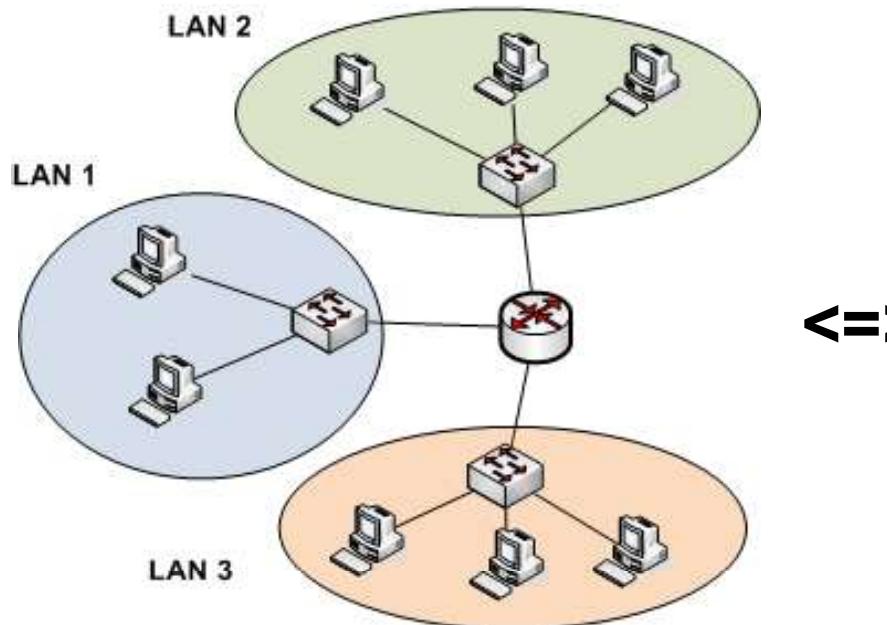
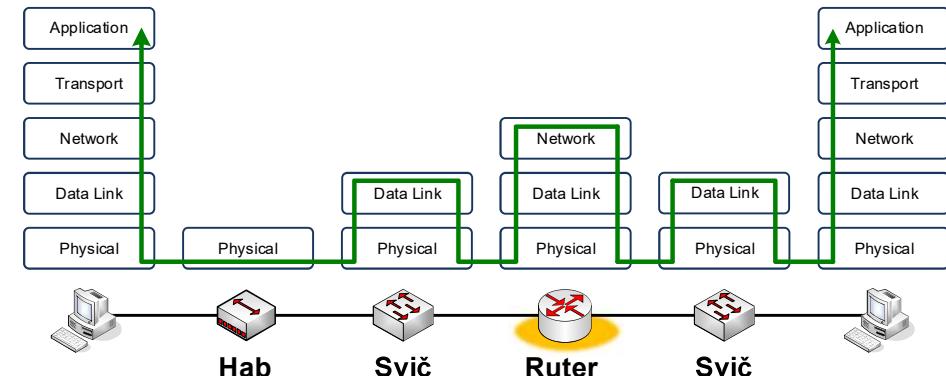
# Vrste portova

- **Access port** – na vezama koje prenose samo jedan VLAN
- **Trunk port** – na trunk vezama koje prenose više VLAN-ova
- Vrste portova moraju da se poklope na obe strane jedne veze:
  - ili oba access ili oba trunk porta



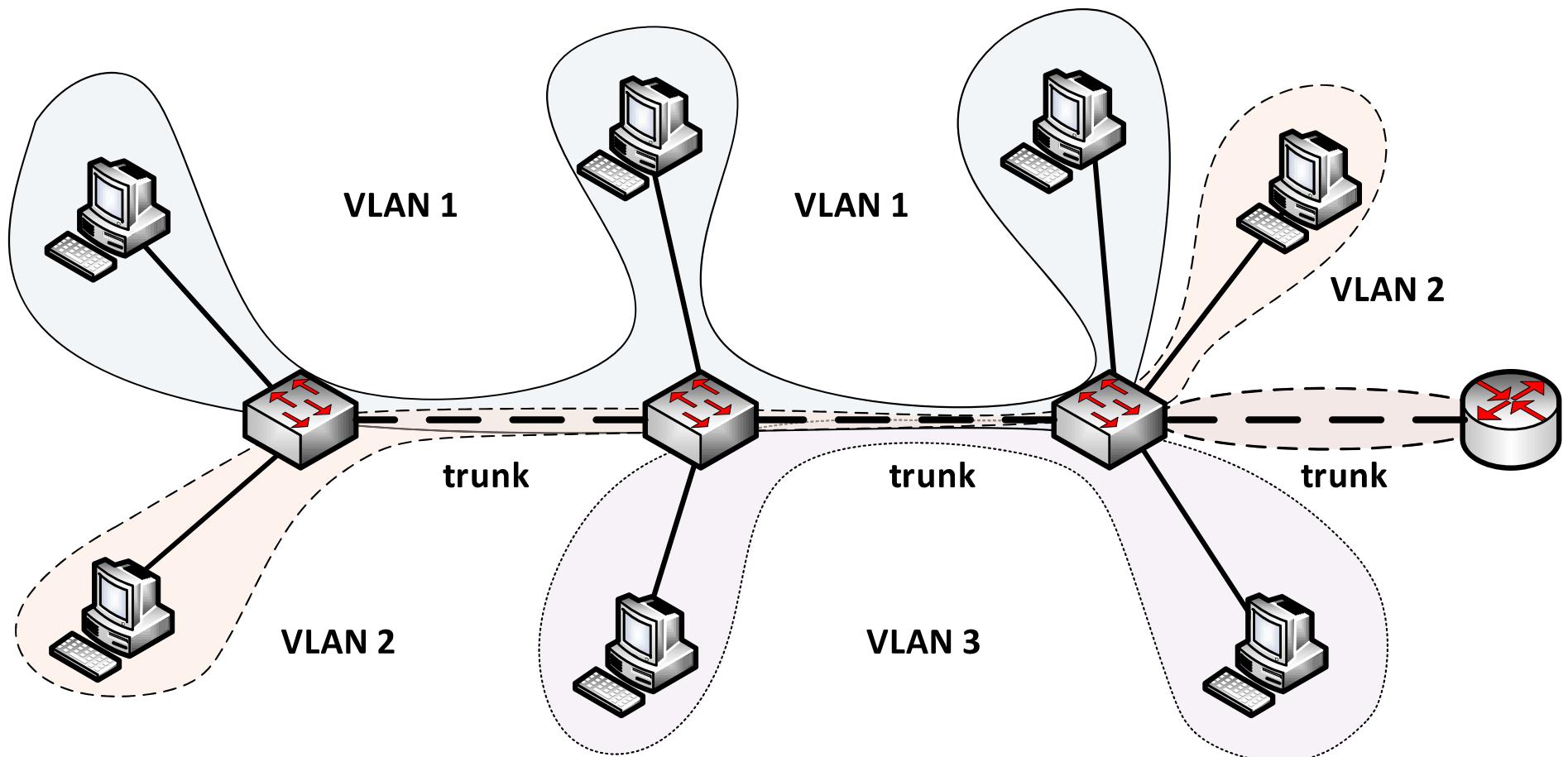
# Povezivanje VLAN-ova

- Povezivanje različitih LAN-ova (pa i različitih VLAN-ova)  
MORA se obaviti preko ruter-a (L3 nivo)
  - Odvojene fizičke veze svakog sviča i rutera
  - Trunk veza između jednog sviča i rutera



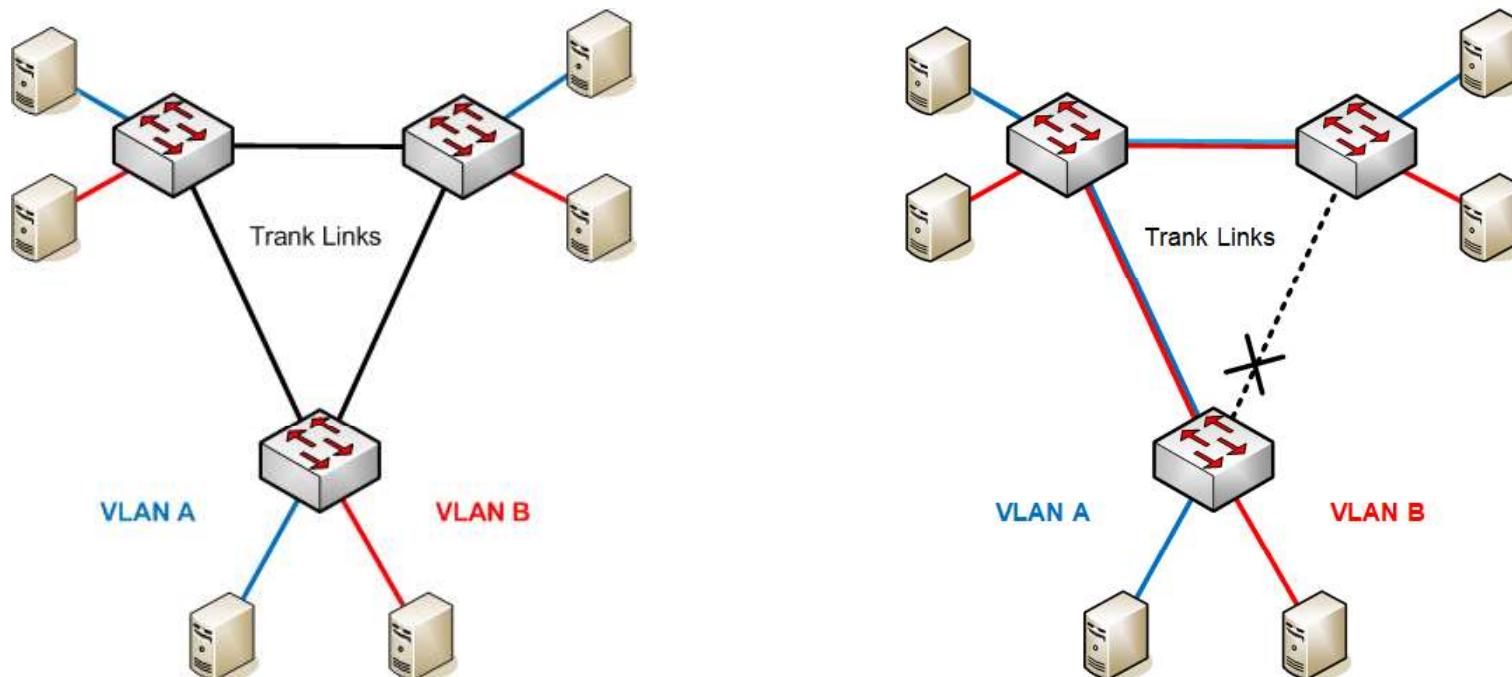
# Povezivanje VLAN-ova

- Povezivanje različitih LAN-ova (pa i različitih VLAN-ova)  
MORA se obaviti preko ruter (L3 nivo)
  - Trunk veza između sviča i ruter



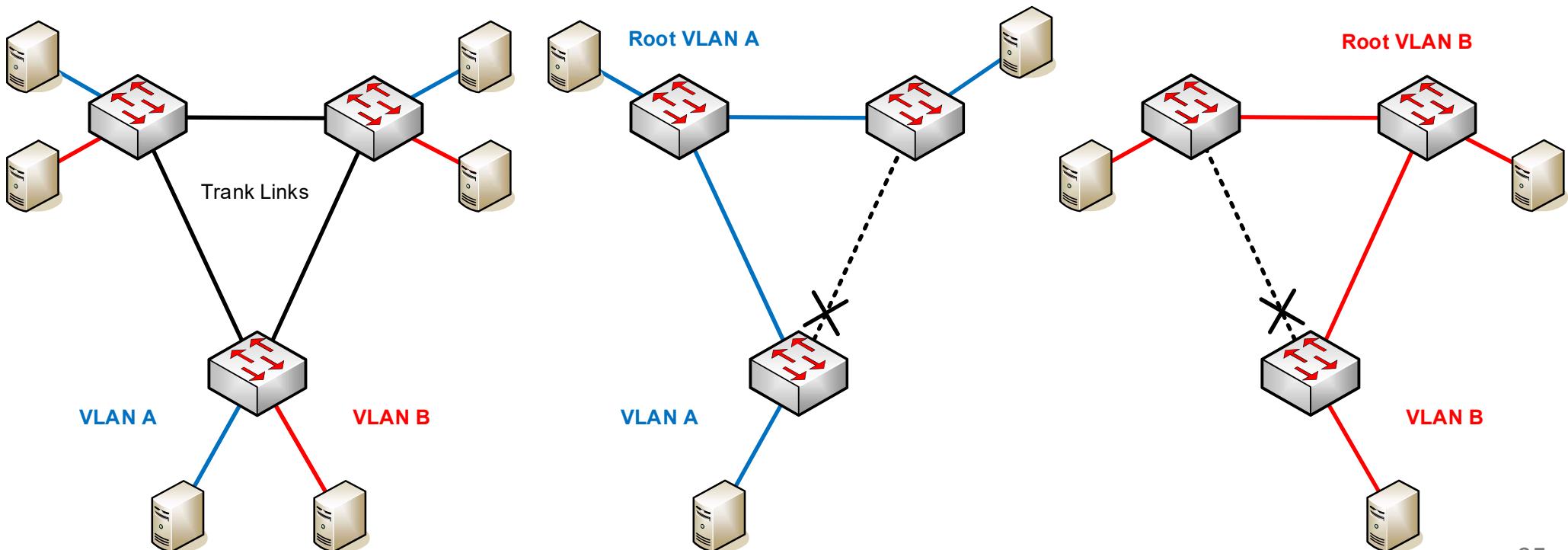
# STP i VLAN-ovi

- Klasičan pristup - zajedničko STP stablo za sve VLAN-ove
  - VLAN-ovi „unutar“ STP
- Blokirani portovi se ne koriste ni za jedan VLAN
  - Neoptimalno



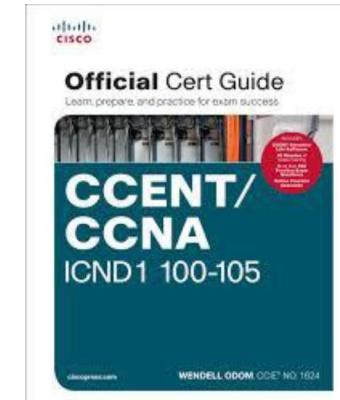
# STP i VLAN-ovi

- Noviji pristup – posebno STP stablo za svaki VLAN
  - STP „unutar“ VLAN-a
- PVST – „Per-VLAN STP“
- Nezavisno sprovođenje STP po različitim VLAN-ovim
- Optimalnije iskorišćenje fizičkih linkova

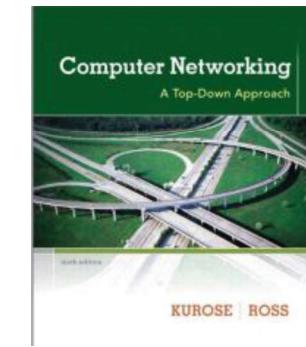


# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press

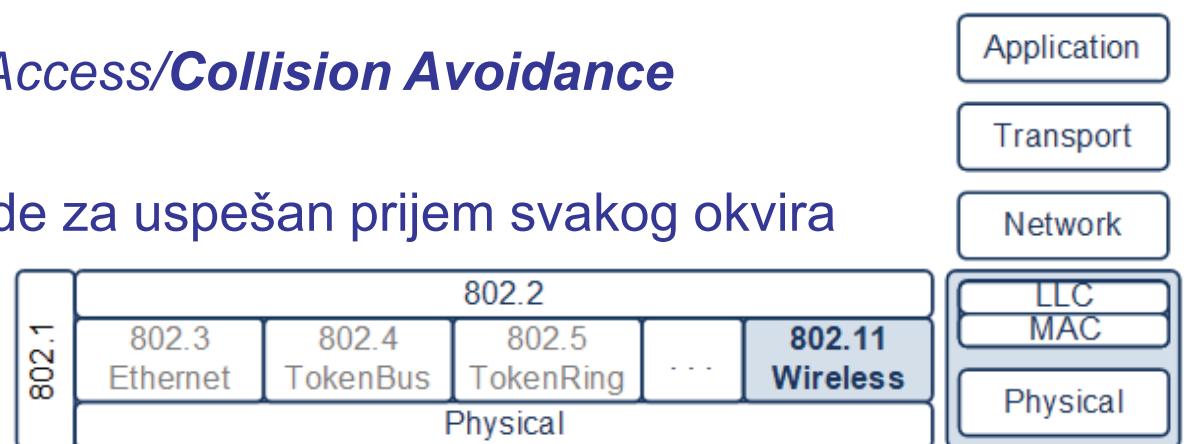


- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET



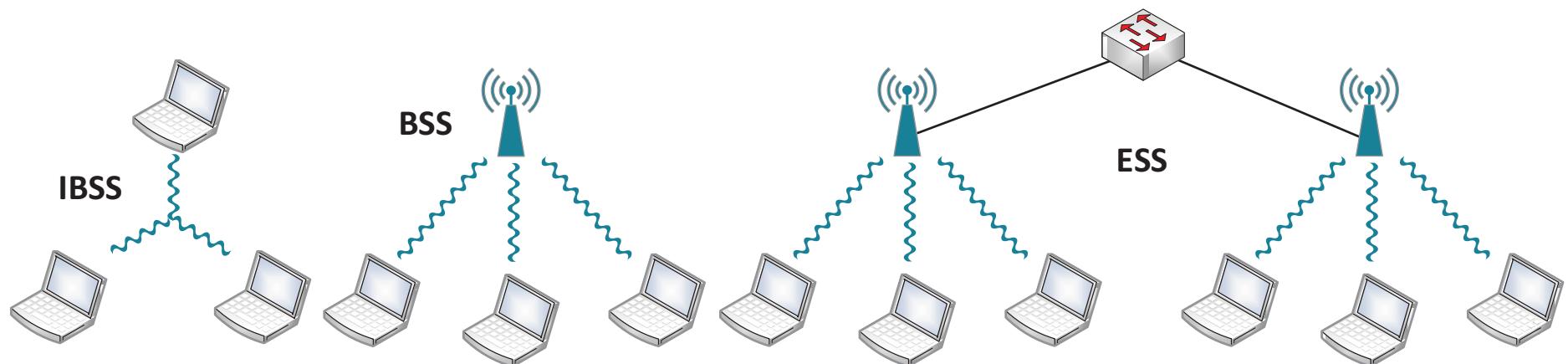
# WLAN – Wireless LAN

- WLAN (*Wireless LAN*) - Bežične lokalne računarske mreže
- WLAN standard - IEEE 802.11
  - Deljeni medijum – jedna frekvencija
  - *Half-duplex* – samo jedan uređaj može da šalje okvire u jednom trenutku
- Kolizija se ne može detektovati
  - Tokom slanja podataka, prijem podataka je isključen
    - kolizija se ne može detektovati kao kod “žičanog” Etherneta
  - Zbog slabljenja signala ne može se garantovati da će svi uređaji da detektuju koliziju - tzv. „*hidden station*“
- Izbegavanje kolizije
  - *Carrier-Sense Multiple Access/Collision Avoidance* (CSMA/CA)
  - Zahteva se slanje potvrde za uspešan prijem svakog okvira



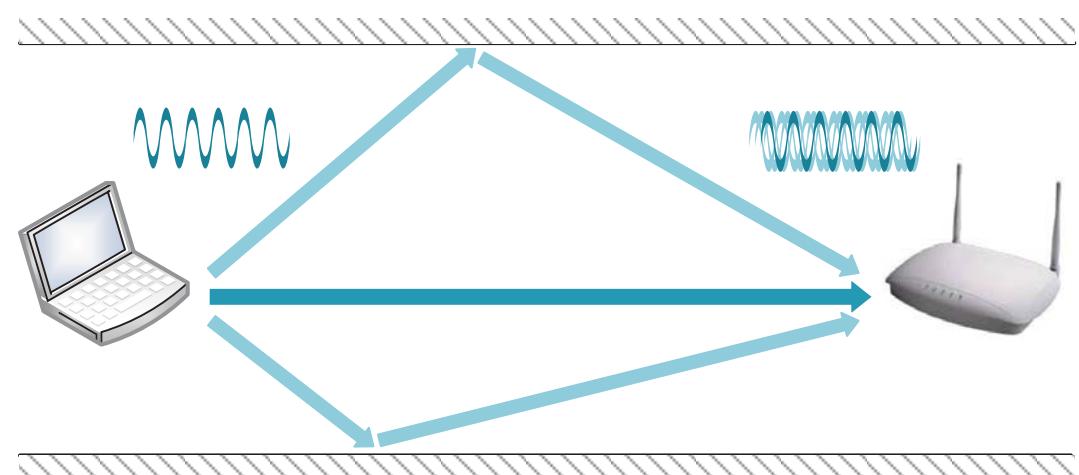
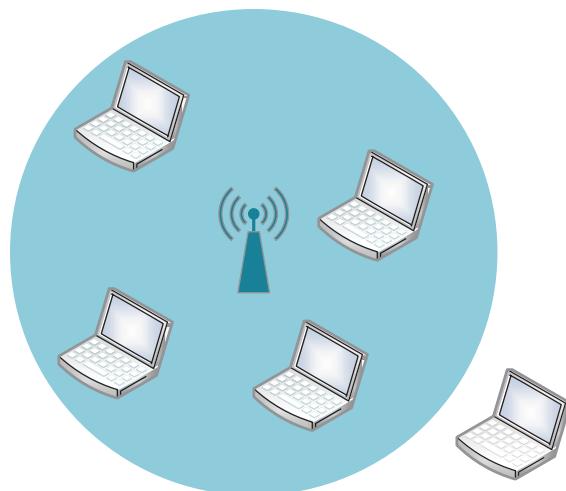
# Podjela WLAN mreža

- *Ad-hoc* režim:
  - **IBSS – Independent Basic Service Set**
    - Svi učesnici su ravnopravni
- Infrastrukturni režim:
  - **BSS - Basic Service Set**
    - Centralni uređaj – Access Point (AP)
    - Sva komunikacije se obavlja posredno preko AP-a
  - **ESS – Extended Service Set**
    - Više AP povezanih preko sviča
- “Service Set” - grupa povezanih uređaja - WLAN mreža



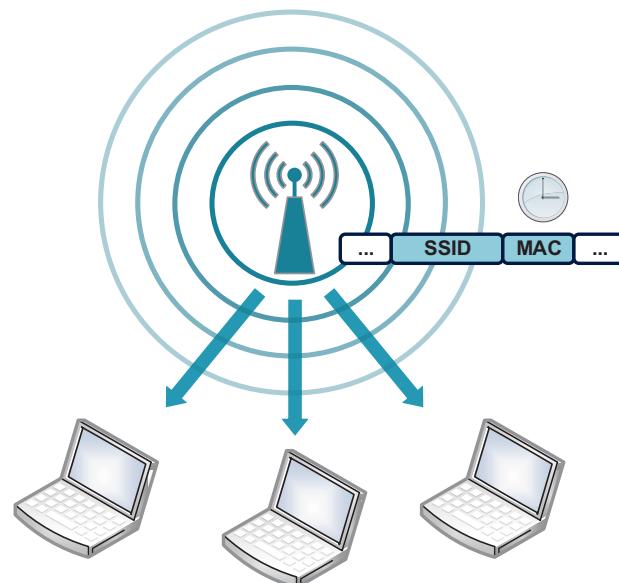
# *Access Point uređaj*

- **AP - Access Point**
  - Centralni uređaj u WLAN mreži
- **WLAN ćelija (cell)**
  - Oblast dometa signala jednog AP
- Refleksija od objekata u okruženju stvara izobličavanje signala
  - Kompenzacija izobličenja –  
Dve antene na AP razmaknute za  $\frac{1}{2}$  talasne dužine



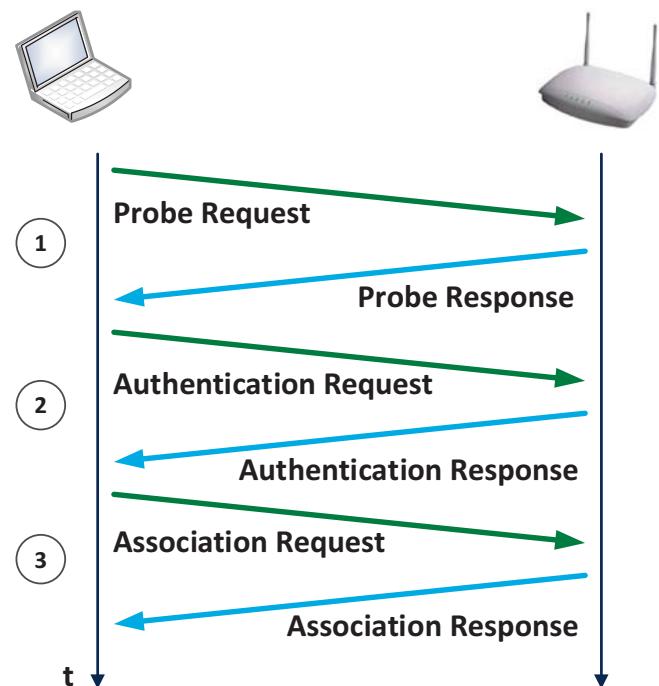
# SSID - Service Set Identifier

- SSID – Naziv WLAN mreže
  - Tekst do 32 karaktera
- *Beacon* okvir
  - Periodično ga oglašava AP
  - Sadrži SSID i MAC adresu AP
  - Mreža postaje vidljiva za ostale uređaje („mreže u dometu“)



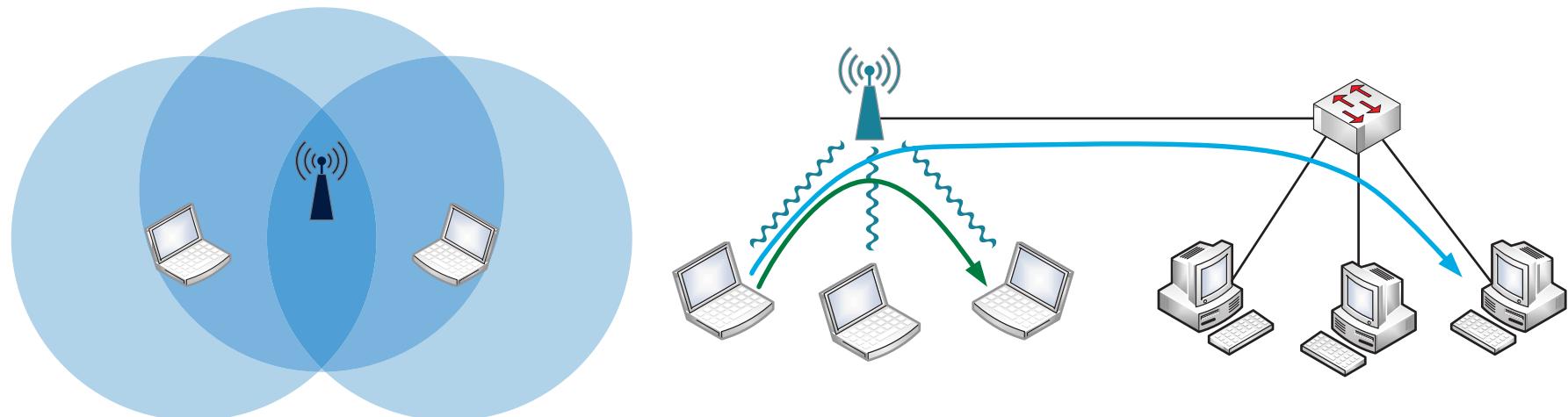
# Povezivanje na WLAN

- Povezivanje na WLAN u tri faze:
  1. Razmena parametara – usaglašavanje podržanih standarda, frekvencije, brzina prenosa itd.
    - *Probe Request, Probe Response*
  2. Autentifikacija
    - *Authentication Request, Authentication Response*
  3. Učlanjivanje (asocijacija)
    - *Association Request, Association Response*



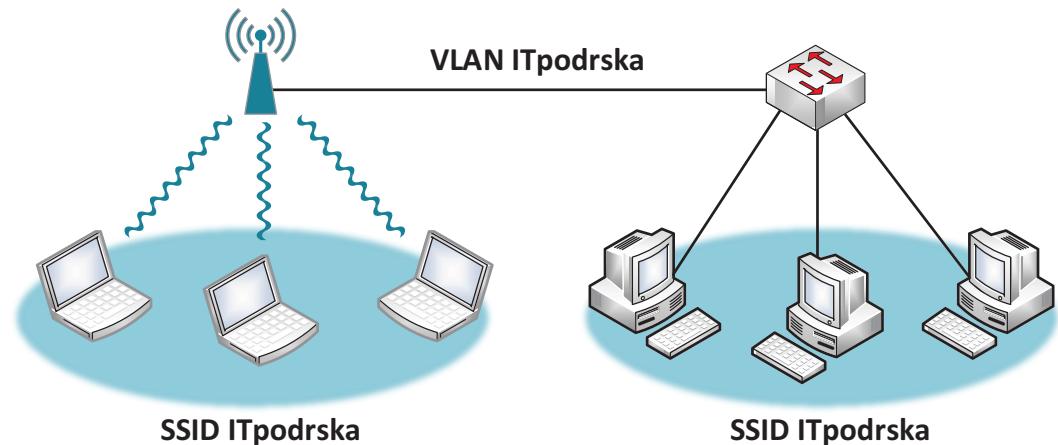
# Komunikacija

- Sva komunikacija sa drugim klijentima obavlja se preko AP
  - Svi uređaji mogu da detektuju okvire, ali se prihvataju samo okviri od AP
  - Preko AP se prenose i okviri sa podacima i potvrde
  - AP je rešenje i za „*hidden station*“
    - Dva uređaja međusobno van dometa za direktnu komunikaciju
- Komunikacija sa ostalim uređajima u LAN mreži
  - Veza AP i sviča – tzv. „bridž mod“, na L2 nivou

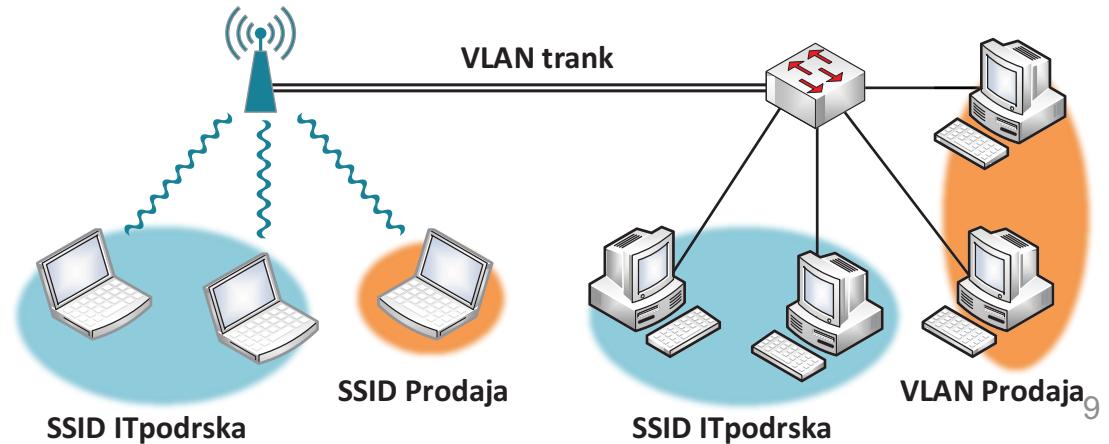


# Integracija sa LAN/VLAN mrežama

- Integracija sa VLAN mrežom
  - Mapiranje SSID-a u VLAN

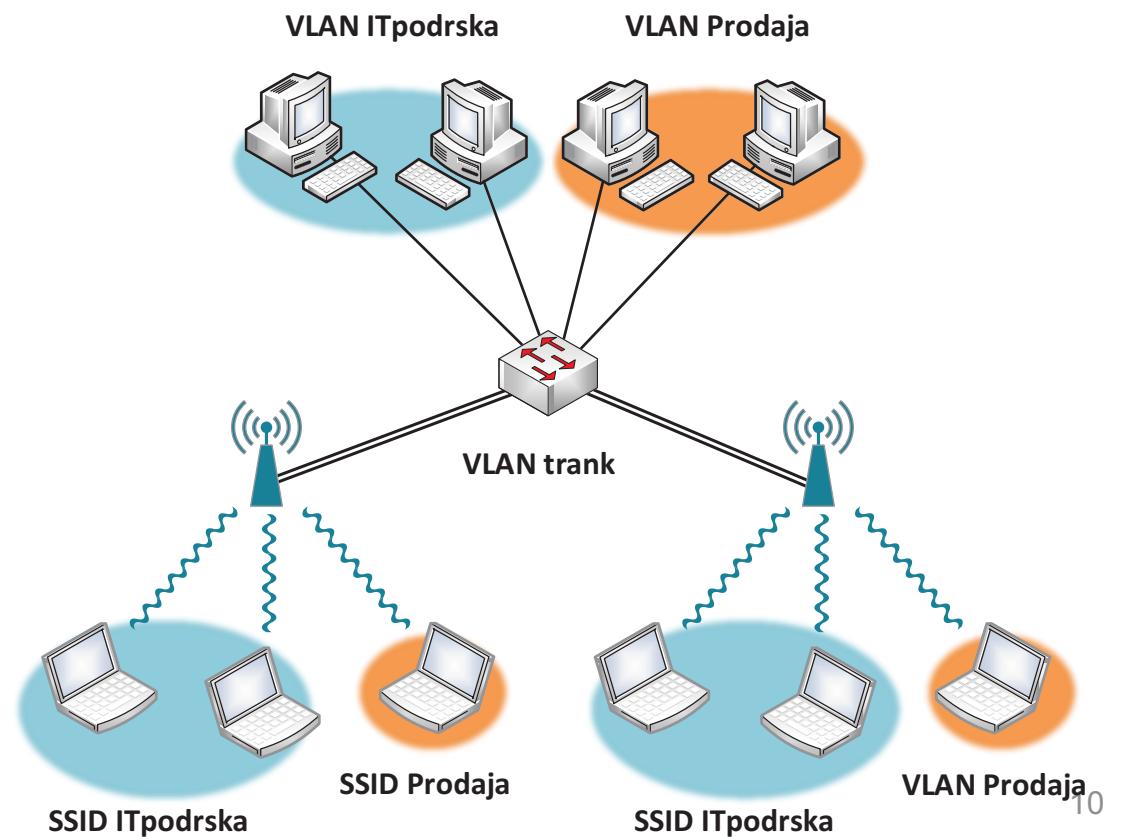


- Više SSID-a na jednom AP uređaju mapirano u odvojene VLAN-ove
  - Trunk link sa svičem



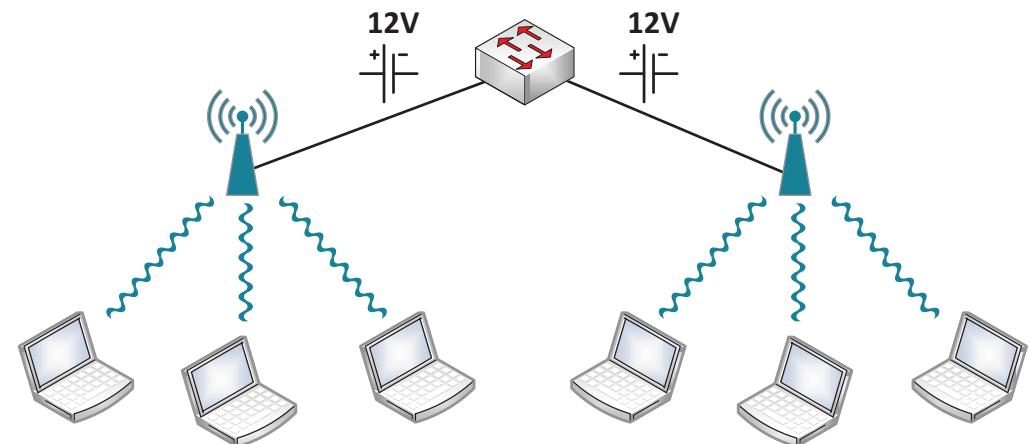
# Integracija sa LAN mrežom

- Proširivanje SSID na više AP uređaja preko LAN mreže
  - Svaki SSID mapiran u jedan VLAN
  - Trunk između AP i sviča



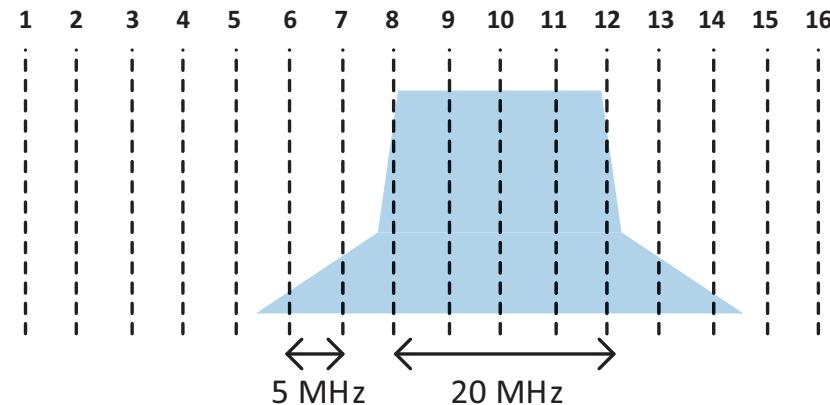
# Integracija sa LAN mrežom

- AP zahteva napajanje, a obično lociran u prostoriji pri plafonu
  - Često je nezgodno dovesti napajanje
- AP ima i Ethernet priključak
  - Povezuje se na svič – bridge mod između WLAN i LAN
- *Power Over Ethernet (PoE)*
  - Posebni svičevi koji prenose DC napajanje od 12V preko UTP kablova
  - AP se može napajati preko PoE



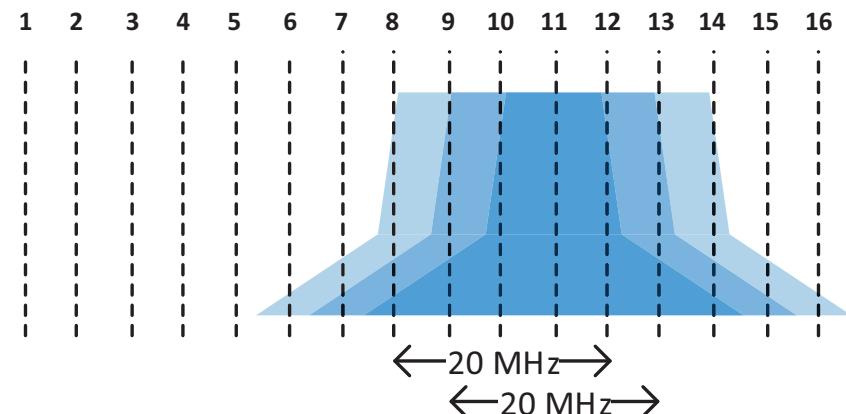
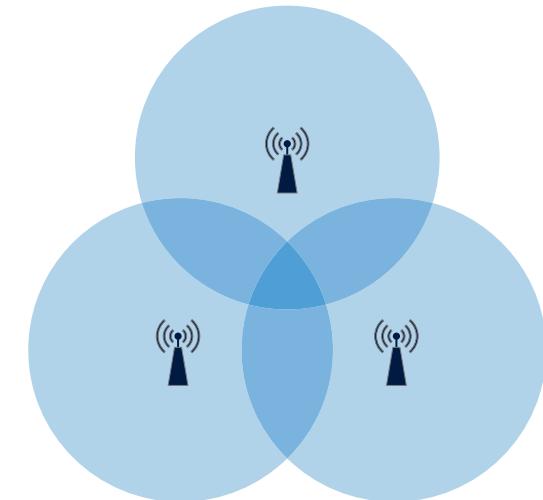
# WLAN kanali

- Kanal
  - Frekvencijski domen fiksne širine (20MHz, 40MHz)
  - Prenos jednog signala
- Susedni kanali
  - Razdvojeni za 5 MHz
  - Međusobno su preklopljeni
- AP
  - Podržava više kanala
  - Radi samo na jednom kanalu



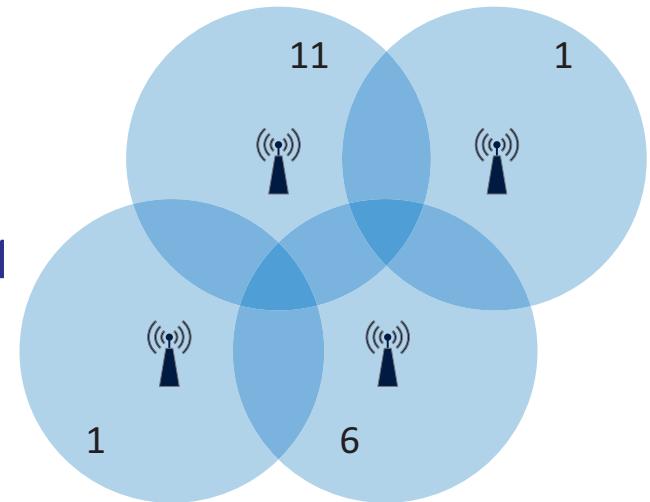
# WLAN kanali

- Pokrivanje većeg prostora
  - Više AP uređaja
  - Ćelije moraju da se preklope da bi se obezbedio kontinuitet WLAN mreže
- Problem:
  - Ako preklopljene ćelije rade na susednim kanalima, doći će do preklapanja frekvencijskog domena, interferencije signala i grešaka

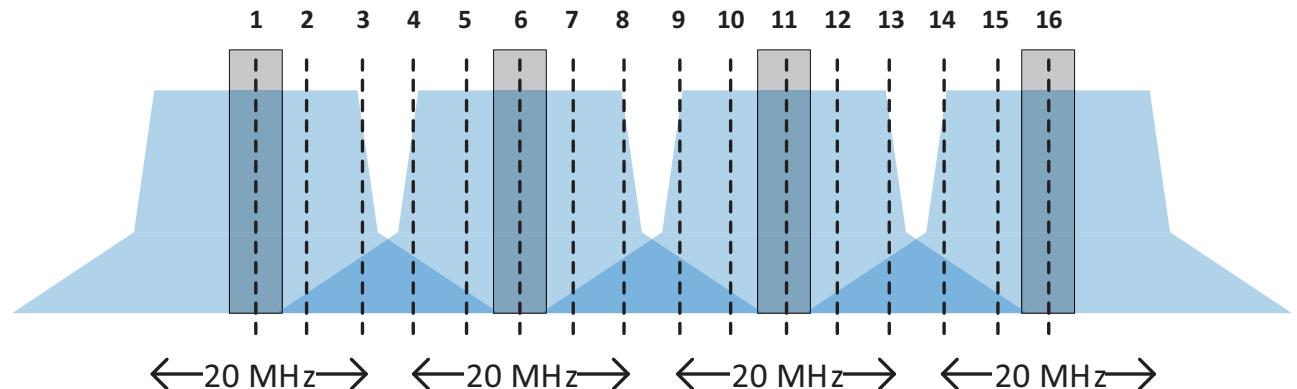


# WLAN kanali

- Rešenje
  - Susedni AP moraju da koriste različite i međusobno udaljene kanale, odvojene za najmanje 5 kanala, npr. 1, 6, 11

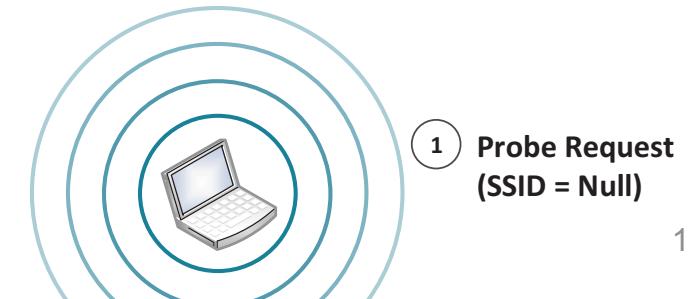
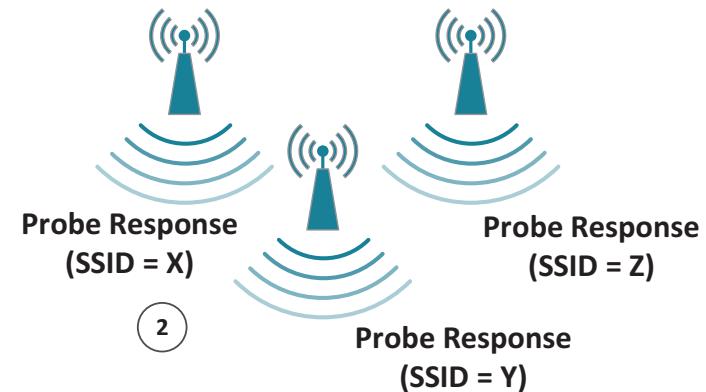
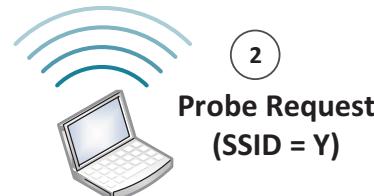
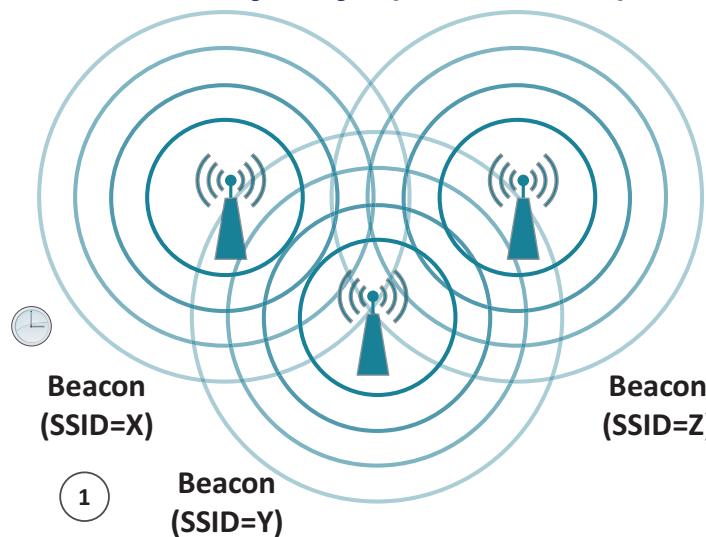


- Mobilnost korisnika bez gubitka veze
  - Ako signal sa jednog AP oslabi, automatski se prelazi na drugi AP sa jačim signalom



# WLAN kanali

- Skeniranje kanala – traži se kanal na kom je signal najjači
  - Pasivno skeniranje
    - Uređaj čeka da AP oglasi *beacon* okvir, koji sadrži kanal na kome radi AP
  - Aktivno skeniranje
    - Uređaj šalje poseban upit za raspoložive kanale – *Request Probe* paket



# Format okvira



- *Frame Control* – različiti flegovi
- FCS (*Frame Check Sequence*) – kontrola greške (CRC)
- Zbog prenosa okvira preko AP, postoji više vrsta adresa:
  - *Source Address* (SA) – izvorišni uređaj
  - *Transmitter Address* (TA) - izvorišni uređaj ili AP
  - *Receiver Address* (RA) – odredišni uređaj ili AP
  - *Destination Address* (DA) – odredišni uređaj
- Korišćenje adresnih polja zavisi od konkretnog slučaja
  - Određeno sa dva flega u kontrolnom polju: „To DS“, „From DS“ (DS - *Distribution System*)

To DS	From DS	Adr1	Adr2	Adr3	Adr4
0	0	RA=DA	TA=SA	BSSID	-
0	1	RA=DA	TA=BSSID	SA	-
1	0	RA=BSSID	TA=SA	DA	-
1	1	RA	TA	DA	SA

# Vreme zauzeća medijuma



- *Duration* - Procena vremena zauzeća medijuma  
**Network Allocation Vector (NAV)**
  - Zavisi od veličine okvira i brzine prenosa okvira
  - Ostali uređaji znaju kada će se medijum oslobođiti
- Osluškivanje medijuma (*Carrier Sense*)
  - Fizičko – sluša se da li je medijum slobodan ili zauzet
  - Virtuelno
    - Tokom trajanja NAV vremena
    - Ostali uređaji znaju koliko vremena će medijum da bude zauzet i ne moraju stalno da ga proveravaju
    - Smanjenja aktivnost uređaja i potrošnja baterije

# CSMA/CA

Dva pristupa za izbegavanje kolizije na MAC nivou:

- Centralizovana koordinacija  
*(PCF – Point Coordination Function)*
  - Jedan centralni uređaj (AP) „proziva“ ostale uređaje i daje im dozvolu za slanje
  - Samo Infrastrukturne mreže
- Distribuirana koordinacija  
*(DCF – Distributed Coordination Function)*
  - Svi uređaji su jednaki (uključujući i AP) i „nadmeću“ se za zauzimanje medijuma
  - Infrastrukturne i *ad-hoc* mreže

# Koji je dominantan pristup za izbegavanje kolizije u savremenim WLAN mrežama sa AP uređajima?

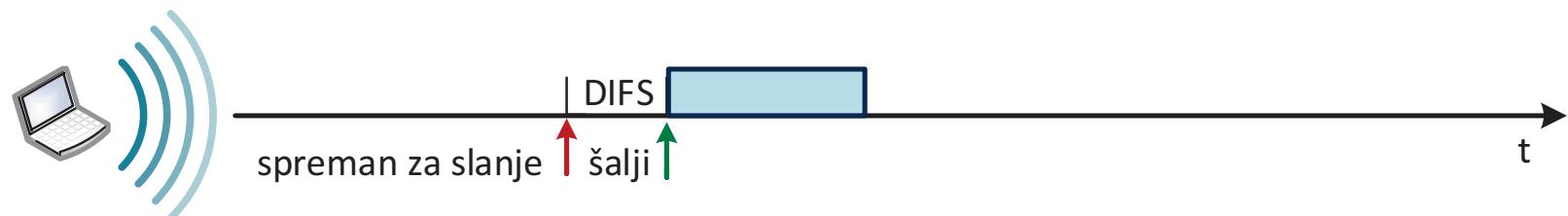
Centralizovana  
koordinacija

Distribuirana  
koordinacija

Nešto treće

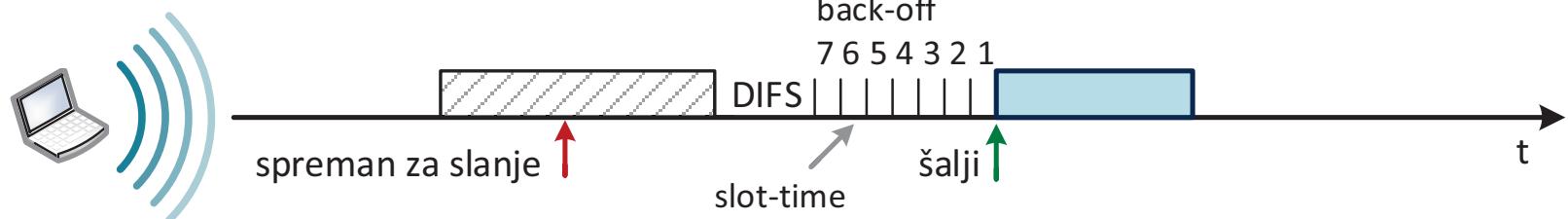
# DCF – Distribuirana koordinacija

- Dominantno se koristi u WLAN mrežama
- Kada uređaj želi da šalje okvir, prvo “osluškuje” medijum:
- Ako je medijum slobodan
  - Čeka se fiksni vremenski interval  
**DIFS (Distributed Inter Frame Space)**  
DIFS = 50µs
  - Nakon toga se okvir šalje



# DCF – Distribuirana koordinacija

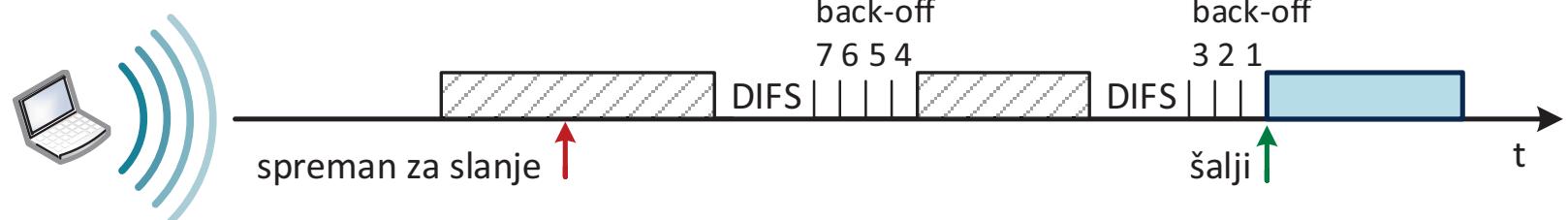
- Ako je medijum zauzet
  - Čeka se da se medijum oslobodi
  - Čeka se fiksni vremenski interval - **DIFS**
  - Dodatno se čeka i slučajan vremenski interval – **back-off**
- **Back-off**
  - Vreme čekanja, izraženo u broju *slot-time* vremena (ST)  
 $ST=20\mu s$
  - Bira se slučajan broj  $R$  (od 0 do CW - *Contention Window*)
  - *Back-off vreme čekanja:*  $T = R \times ST$
  - Sa brojem neuspešnih pokušaja eksponencijalno se povećava CW (npr. do 255)



# DCF – Distribuirana koordinacija

Ako medijum postane zauzet tokom čekanja *back-off* vremena

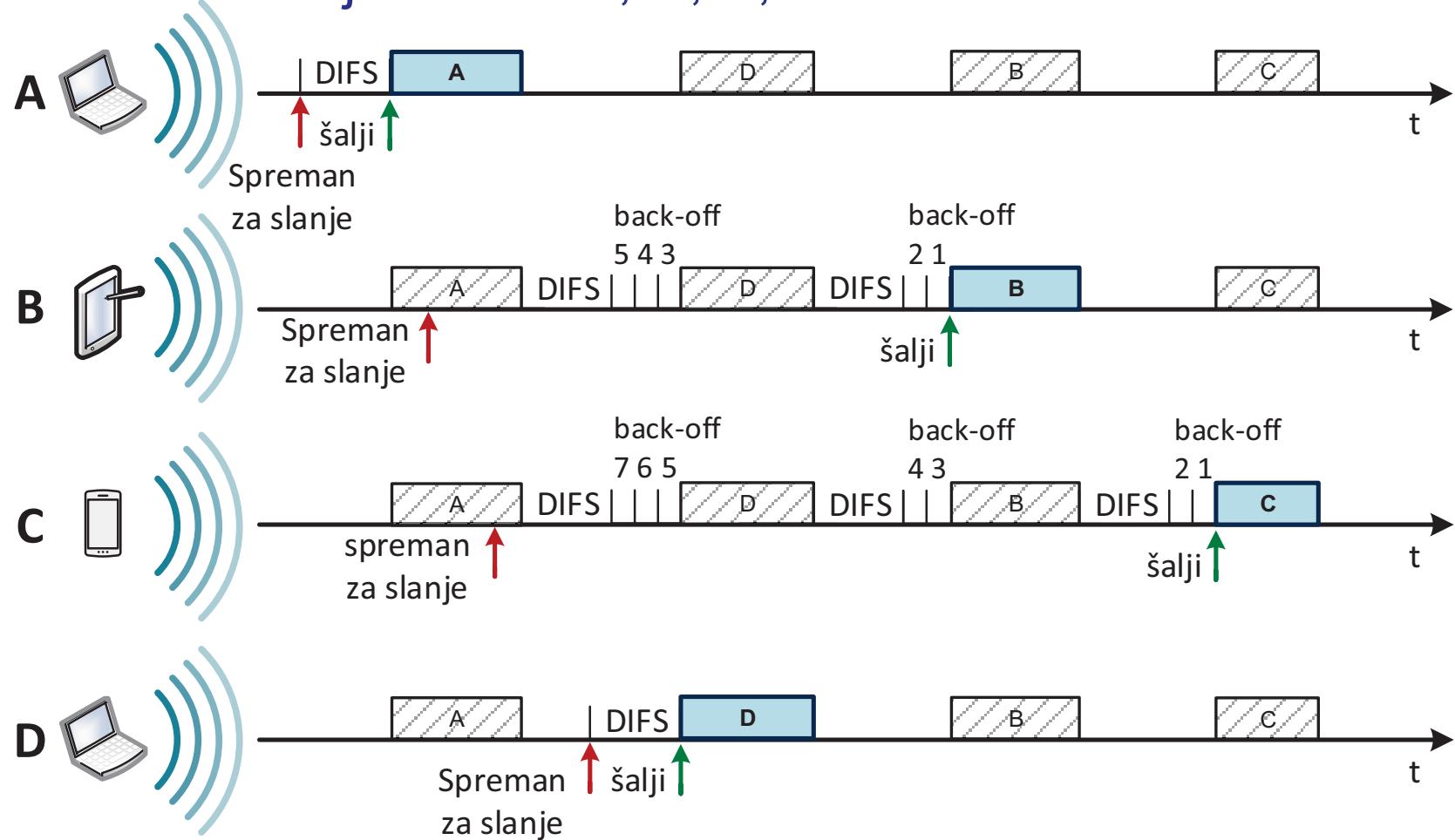
- *Back-off* vreme se privremeno zaustavlja (pauzira)
- Kada se medijum ponovo oslobodi
  - Čeka se fiksni vremenski interval - **DIFS**
  - Preostalo *back-off* vreme nastavlja da teče



# DCF – Distribuirana koordinacija

Primer:

- Redosled pristizanja okvirna za slanje: A, B, C, D
- Redosled slanja okvira: A, D, B, C



# DCF – Distribuirana koordinacija

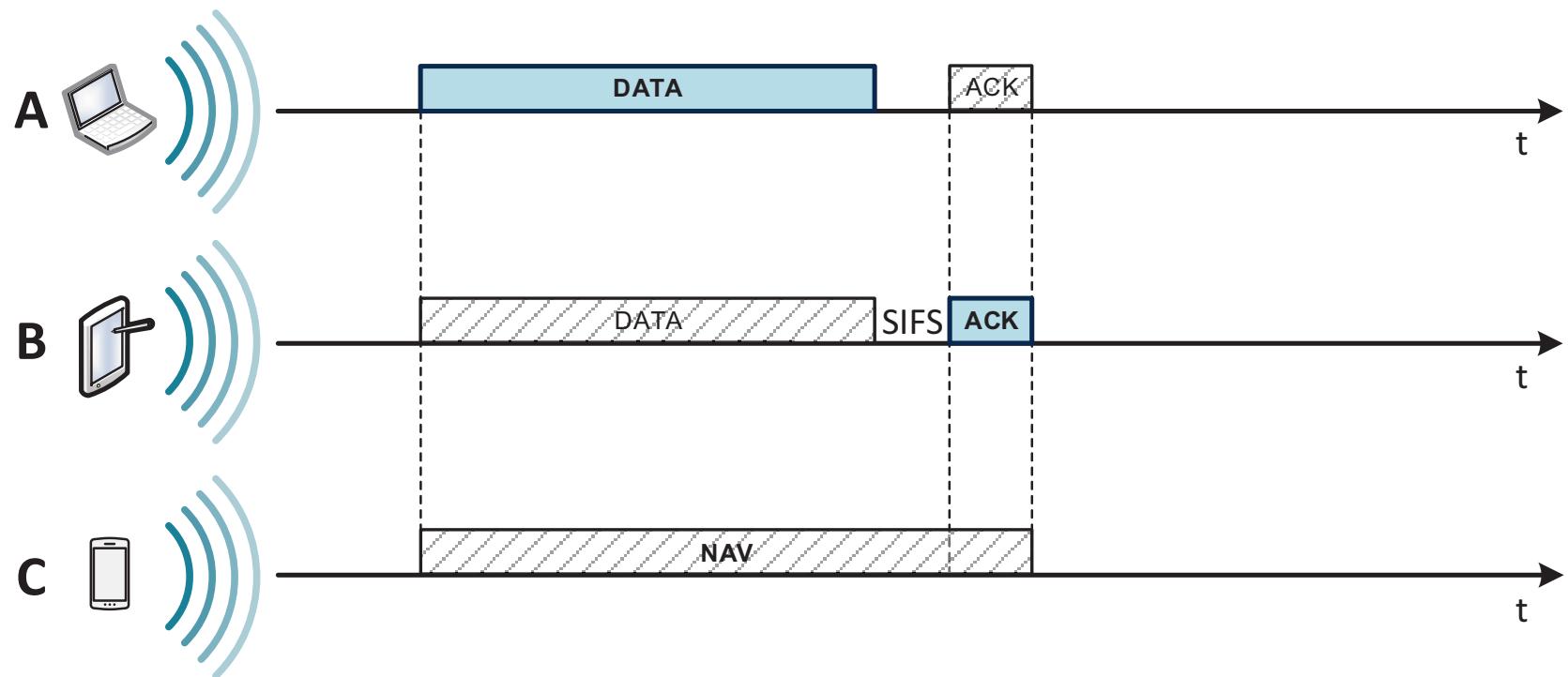
- Izbegavanje kolizije se sprovodi, ali se ne garantuje
  - Svaki okvir koji se uspešno primi bez kolizije, mora da se potvrди **Positive Acknowledgement (ACK)**
  - Ako nastane kolizija, uređaj koji je poslao okvir neće dobiti potvrdu, pa se okvir ponovo šalje
  - Potvrda se takođe posredno prenosi preko AP uređaja

Dva režima prenosa okvira (od A do B)

- Prenos u dva koraka (*Two-Way Handshake, Positive Acknowledgement*)
  1. (A -> B) okvir sa podacima
  2. (B -> A) potvrda (*Acknowledgement*)
- Prenos u četiri koraka (*Four-Way Handshake, RTS/CTS*)
  1. (A -> B) zahtev za prenos (RTS – *Request To Send*)
  2. (B -> A) odobravanje prenosa (CTS – *Clear To Send*)
  3. (A -> B) okvir sa podacima
  4. (B -> A) potvrda (*Acknowledgement*)

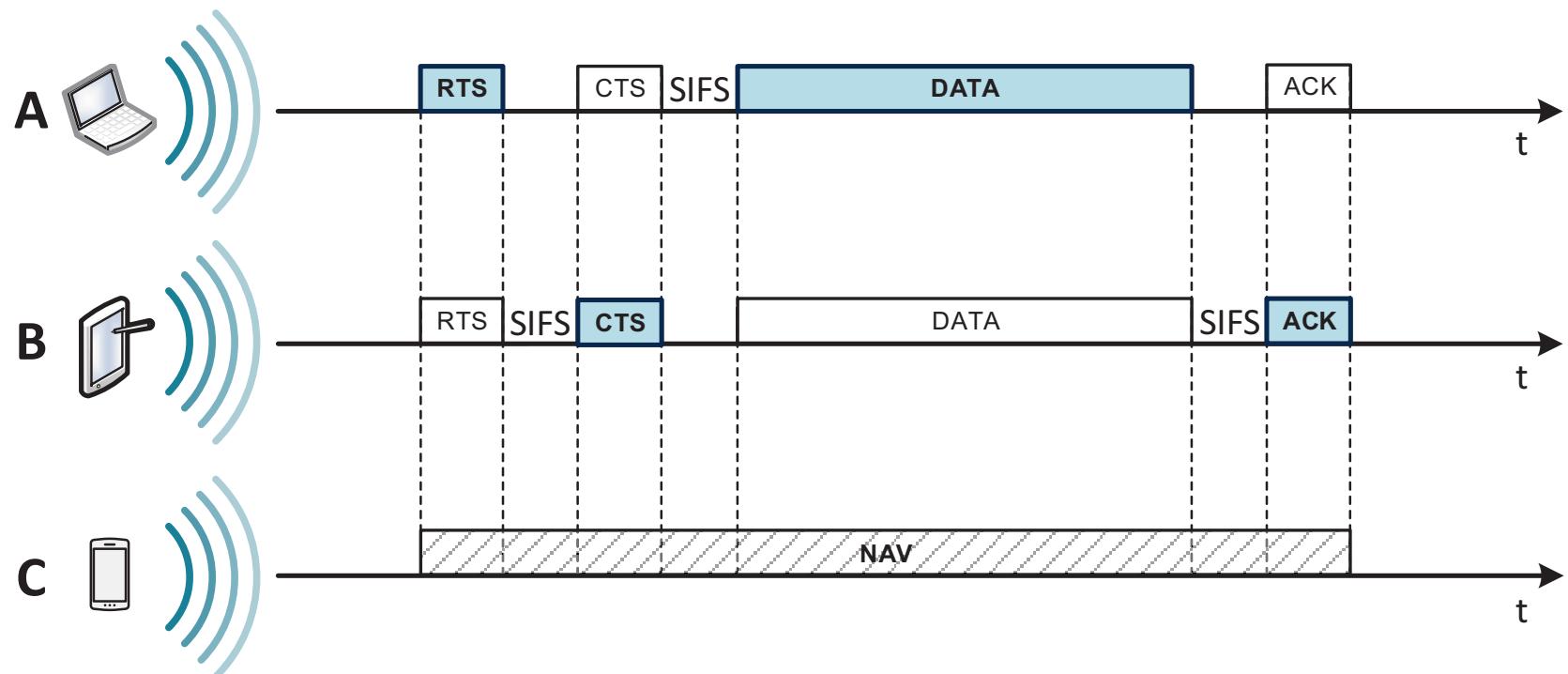
# DCF – Prenos u dva koraka

- Prenos u dva koraka (*Two-Way Handshake*)
  1. (A → B) okvir sa podacima
  2. (B → A) potvrda (*Acknowledgement*)
- SIFS – *Short Inter Frame Space*
  - Kratko vreme čekanja da pristigne ACK okvir - SIFS = 10μs



# DCF – Prenos u četiri koraka

- Prenos u četiri koraka (*Four-Way Handshake, RTS/CTS*)
  1. (A → B) zahtev za prenos (RTS – *Request To Send*)
  2. (B → A) odobravanje prenosa (CTS – *Clear To Send*)
  3. (A → B) okvir sa podacima
  4. (B → A) potvrda (*Acknowledgement*)
- Obično se koristi kod slanja velikih okvira
- NAV - Rezerviše se vreme za slanje okvira, na osnovu *Duration* polja



# Koji vremenski interval se multiplicira sa slučajnim brojem pri čekanja u back-off stanju?

- Distributed Inter Frame Space      **A**
- Back-off Inter Frame Space      **B**
- Slot-time      **C**
- Short Inter Frame Space      **D**

# Sigurnost

- Sigurnosni problemi
  - Deljeni medijum – svi članovi mreže mogu da čitaju pakete
  - Kontrola pristupa – povezivanje i bez fizičkog prisustva objektu
- Rešenja
  - WEP – *Wired Equivalent Privacy*
  - WPA – *Wi-Fi Protected Access*
  - *IEEE 802.1i* (WPA2 - *WiFi Protected Access 2*)

# Sigurnost

- **WEP – *Wired Equivalent Privacy***
  - Uvodi se šifrovanje paketa statičkim simetričnim ključem
- **Problemi:**
  - Statičko definisanje ključa – svaki korisnik mora ručno da podešava ključ (komplikovano, nepromenljivo)
- **Ključ je nedovoljne dužine**
  - Ukupna dužina 64 bita, ali se za šifrovanje koristi samo 40 bita
  - Slaba zaštita, relativno se lako „provali“ automatizovanim variranjem svih vrednosti (*brute force attack*)
- **Ad-hoc rešenja proizvođača**
  - Sakrivanje SSID naziva – AP ne oglašava SSID
  - Filtriranje po MAC adresama – ručno se dozvoljava pristup samo za određene MAC adrese

# Sigurnost

- **WPA – Wi-Fi Protected Access**
- Wi-Fi – udruženje proizvođača wireless opreme
  - Sinonim za WLAN standarde
  - Industrijski *de facto* standard
- Prednosti:
  - Dinamička razmena ključeva – mogućnost česte promene ključa
  - Autentifikacija korisnika
  - Pristupni ključ
  - Username/password (802.1x)
- Posledice:
  - Velika podrška proizvođača
  - Sertifikacija od strane Wi-Fi alijanse
  - Nastavljen proces formalne standardizacije



# Sigurnost

- **IEEE 802.1i**  
**(WPA2 - WiFi Protected Access 2)**
  - Formalni standard (2005)
  - WPA2 – neformalni, ali uobičajeni naziv
- Unapređena sigurnost
  - Algoritam šifrovanja – AES (*Advanced Encryption Standard*)
    - Sigurniji algoritam šifrovanja
    - Ključ veće dužine
- Nekompatibilan sa WEP i WAP
- Preporuka za korišćenje u današnjim WLAN mrežama

# Wireless standardi

- **IEEE 802.11a** (1999)
  - 5GHz, od 6 Mbps do 54 Mbps
  - Skup, manja pokrivenost
- **IEEE 802.11b** (2000)
  - 2.4 GHz, max protok 11Mbps (*Dynamic data rate scaling*: 1, 2, 5.5 i 11Mbps)
  - Jeftiniji, mala brzina
- **IEEE 802.11g** (2003)
  - 2.4 GHz, max protok 54 Mbps (6, 9, 12, 18, 36, 48 i 54 Mbps)
  - Kompatibilan sa 802.11b – „najmanji“ zajednički standard
    - Ako je jedan uređaj povezan preko 802.11b, AP će automatski da pređe na 802.11b – maksimalna brzina limitirana na 11 Mbps !
- **IEEE 802.11n** (2007)
  - 2.4 i 5 GHz, do 450Mbps (u realnosti max oko 240Mbps)
  - Kompatibilan sa 802.11b i 802.11g
- **IEEE 802.11ac** (2013)
  - Teorijska max protok 1300Mbps, u realnosti oko 700Mbps

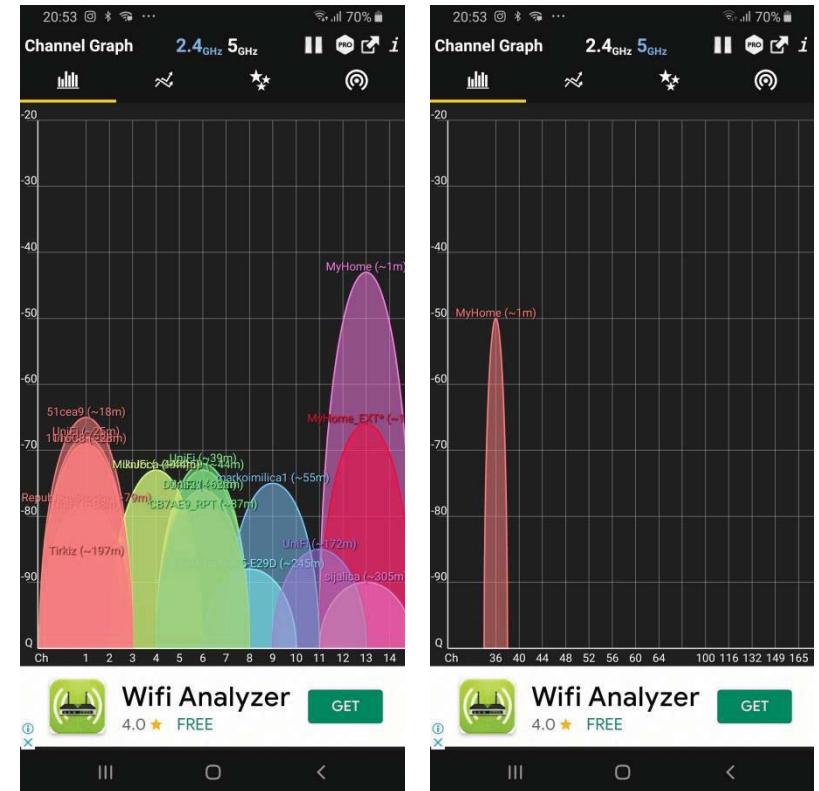
# Preporuke korišćenja

- Podešavanje AP uređaja
  - Veb pristup na adresi koja je *default-gateway* za povezani uređaj

The screenshot shows the 'Radio Settings' page of the technicolor CGA2121 DOCSIS 3.0 Wireless Gateway. The left sidebar menu includes options like Wireless, Radio Settings, Primary Network, Guest Network, Access Control, Advanced Settings, Wifi Insight, Band Steering Exclusion List, Home Network, Parental Controls, Administration, Voice, and Status. The main content area is titled 'Radio Settings' and contains sections for '2.4 GHz Radio' and '5 GHz Radio'.  
**2.4 GHz Radio:** Includes fields for 'Enable Radio' (ON), 'Network Mode' (Auto (b/g/n)), 'Channel Width' (20 MHz, Current: 20MHz), and 'Control Channel' (13, Current: 13, Interference: Acceptable). A summary box states: 'PHY Rate Support: Up to 144 Mbps.' and 'Allow connections from all device types.'  
**5 GHz Radio:** Includes fields for 'Enable Radio' (ON), 'Network Mode' (Auto (a/n/ac)), 'Channel Width' (20 or 40 MHz, Current: 40MHz), and a summary box stating: 'PHY Rate Support: Up to 600 Mbps.' and 'Allow connections from all device types.'

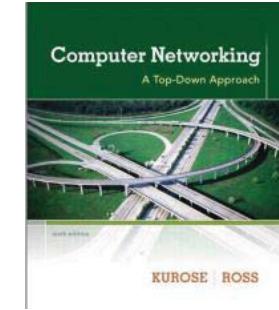
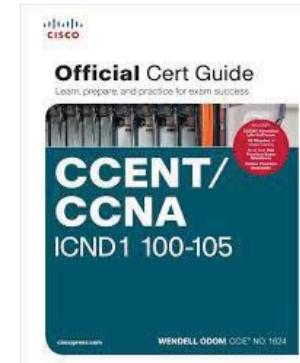
# Preporuke korišćenja

- WiFi bez ključa su nebezbedne
  - Svako može da pristupi
  - Nema šifrovanja podataka
- Podešavanje WiFi uređaja
  - Izabratи kanal koji je najmanje zauzet
    - *WiFi Analyzer*
    - Besplatna mobilna aplikacija
    - Prikaz zauzetosti kanala na 2.4 i 5GHz
  - Birati nepersonalizovani SSID
  - Postaviti WPA2 i „jak“ ključ (lozinka)



# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press
- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET

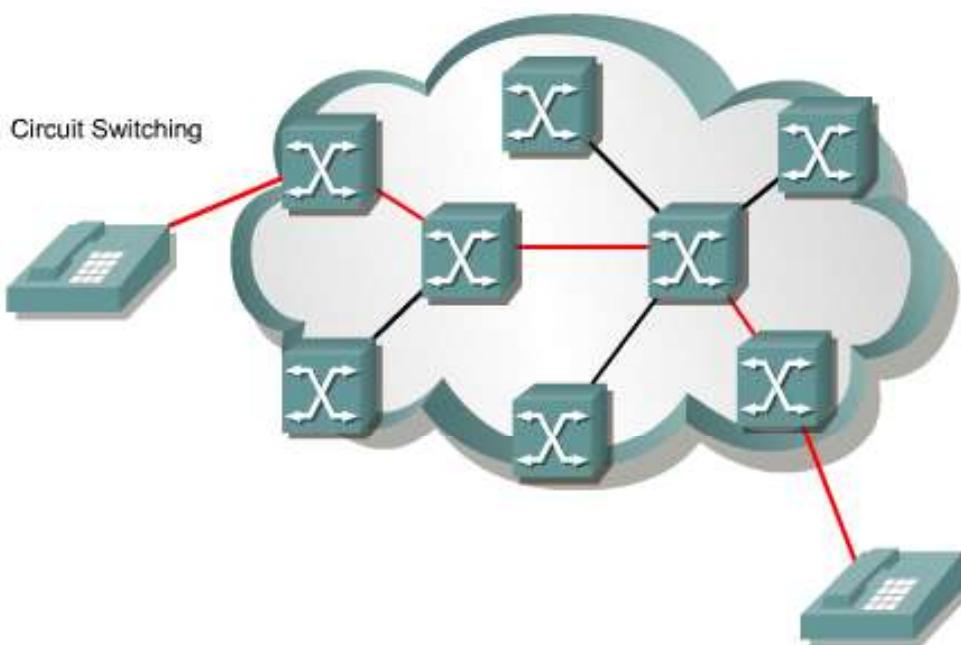


# WAN tehnologije

## Circuit Switched

Uspostavljanje namenske fizičke veze između dva učesnika po potrebi (na zahtev)

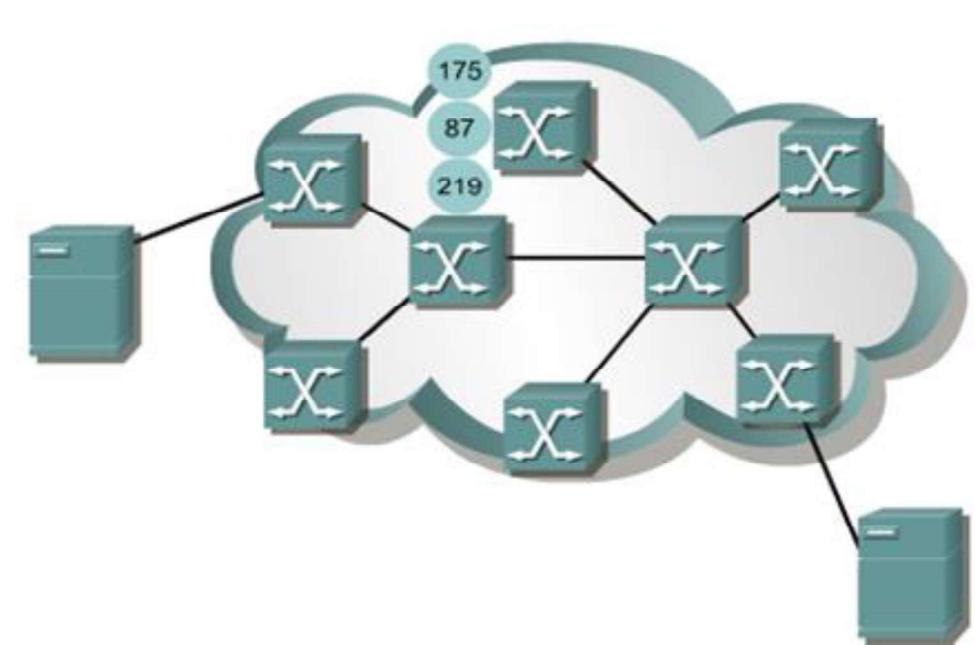
- Telefonske veze, ISDN...
- Povezivanje računara preko iznajmljenih telefonskih linija



## Packet Switched

Paketi podataka se nezavisno posleđuju (komutiraju) kroz WAN mrežu između dve tačke

- Ranije: Frame Relay, ATM, X.25
- Danas: L2VPN, L3VPN



# WAN tehnologije

Primer: povezivanje objekata u korporacijskoj WAN mreži

## Circuit Switched

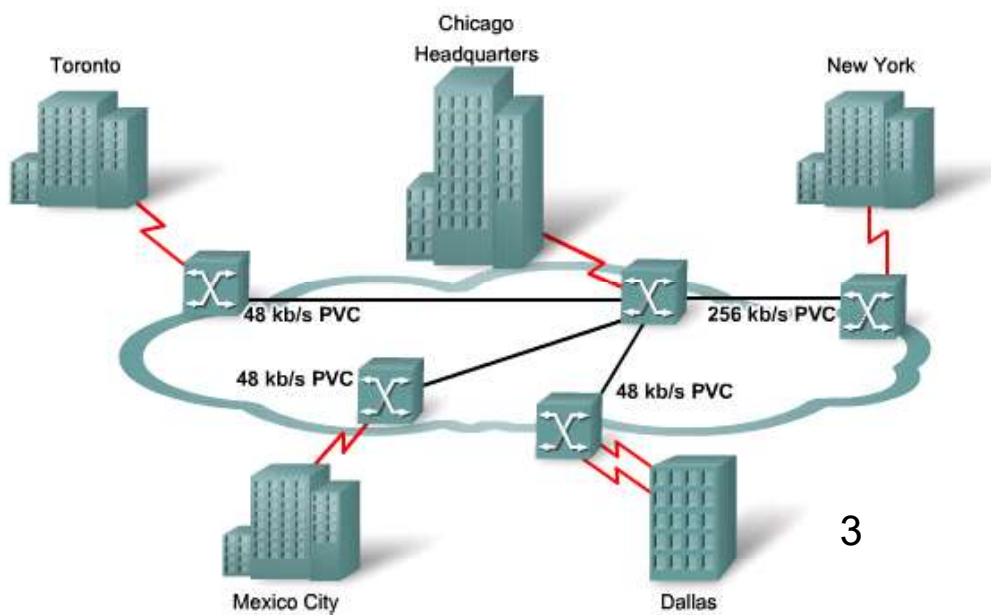
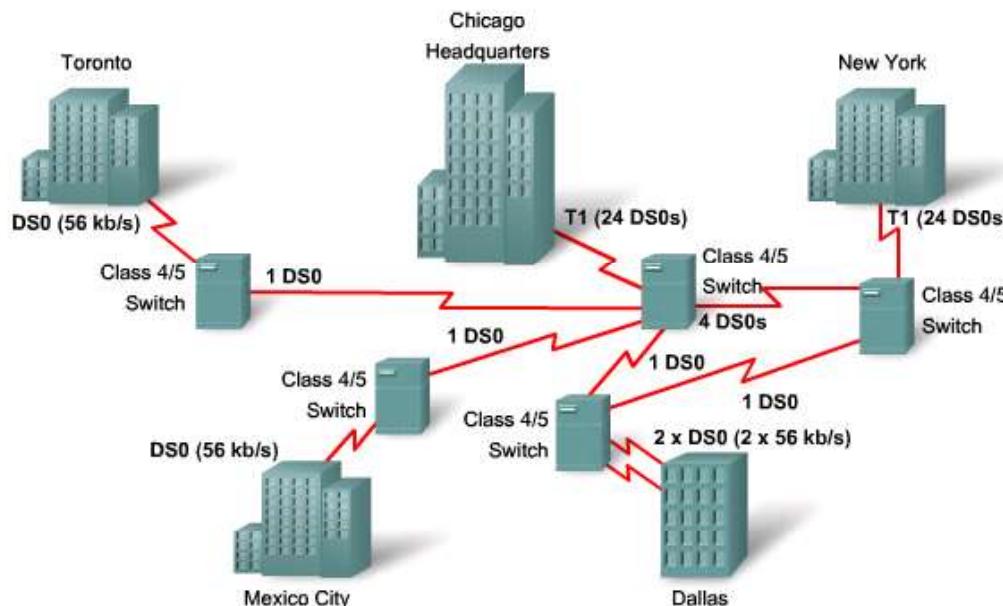
Zakup i ekskluzivno korišćenje permanentnih veza

- skupo, nefleksiblno, neefikasno

## Packet Switched

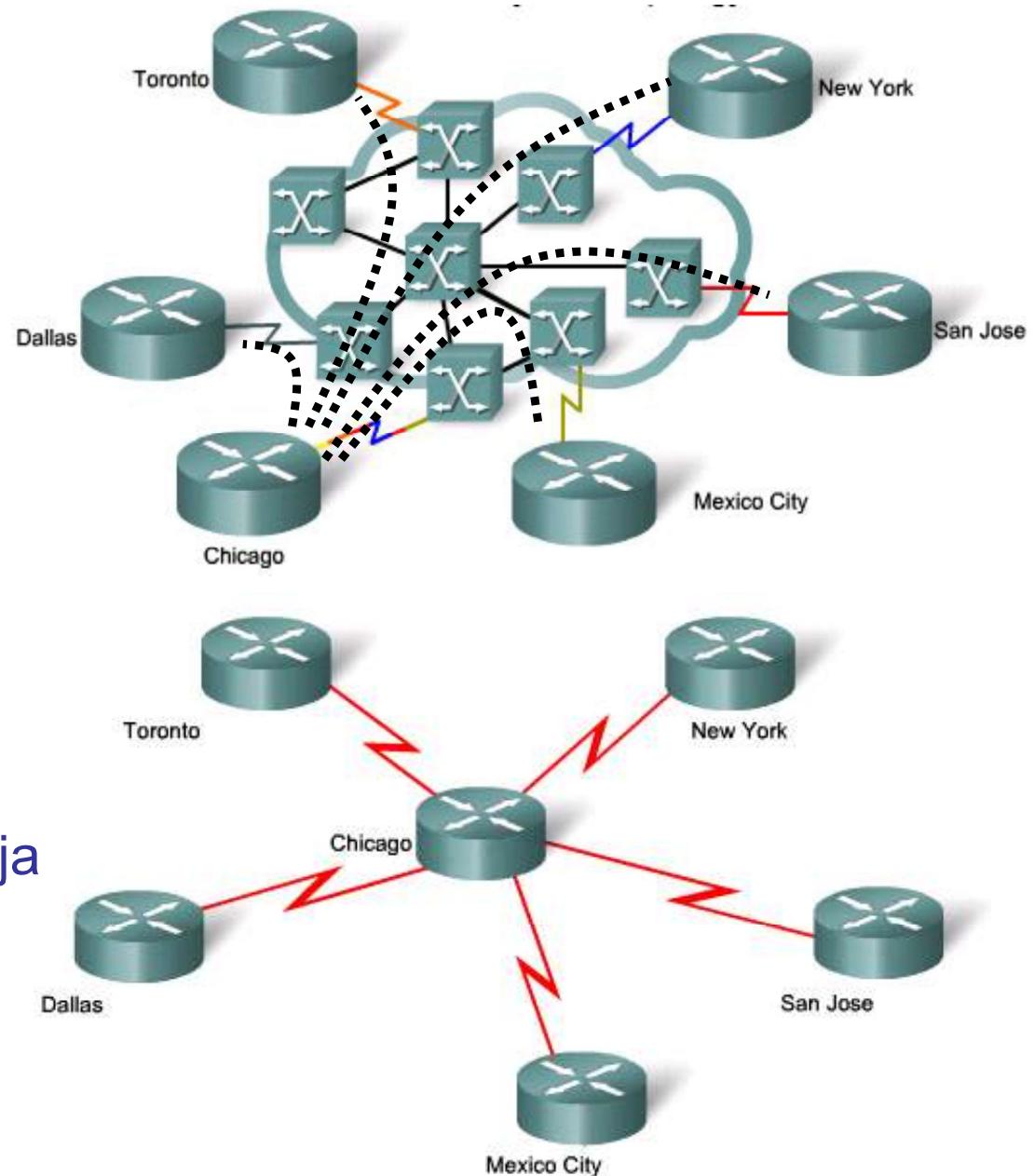
Povezivanje na pristupnu tačku provajdera

- Ugovorom sa provajderom se određuje način komunikacije između lokacija korisnika



# WAN tehnologije

- Fizička topologija
  - Irrelevantna topologija mreže provajdera
- Logička topologija
  - Korisnici od provajdera zakupljuju pojedinačne veze između svojih lokacija
  - Najčešće se realizuje zvezdasto



# WAN veze na L1 nivou

- **Analogne veze**
  - digitalni signali se modulišu i pretvaraju u analogne
  - Uredaji - modemi
    - **voiceband** – “uskopojasni”
    - **broadband** – “širokopojasni”
- **Digitalne veze**
  - uređaji – CSU/DSU
  - 64 kbps, 128 kbps, .... 2 Mbps, 34, Mbps, 155 Mbps...

# WAN uređaji

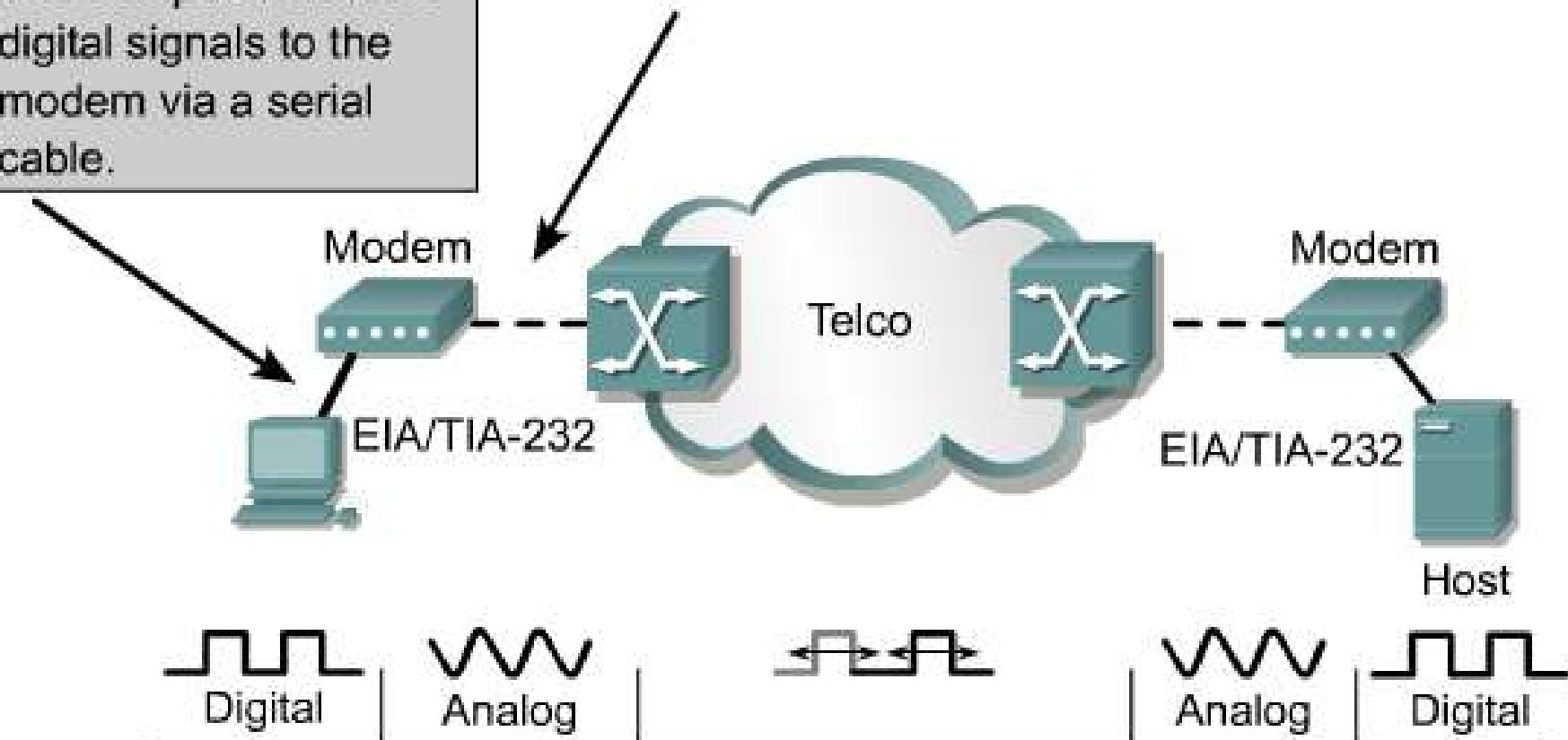
- **Modemi**

- povezani na fizičku vezu, digitalne signale transformiše u modulisani analogni signal i obrnuto
- **voiceband** – “uskopojasni”
  - u govornom području preko telefonske veze
  - neograničeno rastojanje
  - male brzine - 33.6 / 54 kbps
- **broadband** – “širokopojasni”
  - modulacija na višim frekvencijama, iznad govornog opsega
  - **DSL modemi** – *Digital Subscriber Line* - prenos preko telefonske linije, 128kbps...2Mbps...8Mbps, 16Mbps...
    - SHDSL – Symmetric DSL – npr. 2Mbps down/2 Mbps up
    - ADSL – Asymmetric DSL – max 8 Mbps down/1 Mbps up
    - VDSL – *Very Hight Bitrate* DSL – max 52 Mbps down/16 Mbps up
  - **Kablovski modemi** – prenos preko koaksijalnog kabla kablovskog operatora – brzine slične DSL modemima

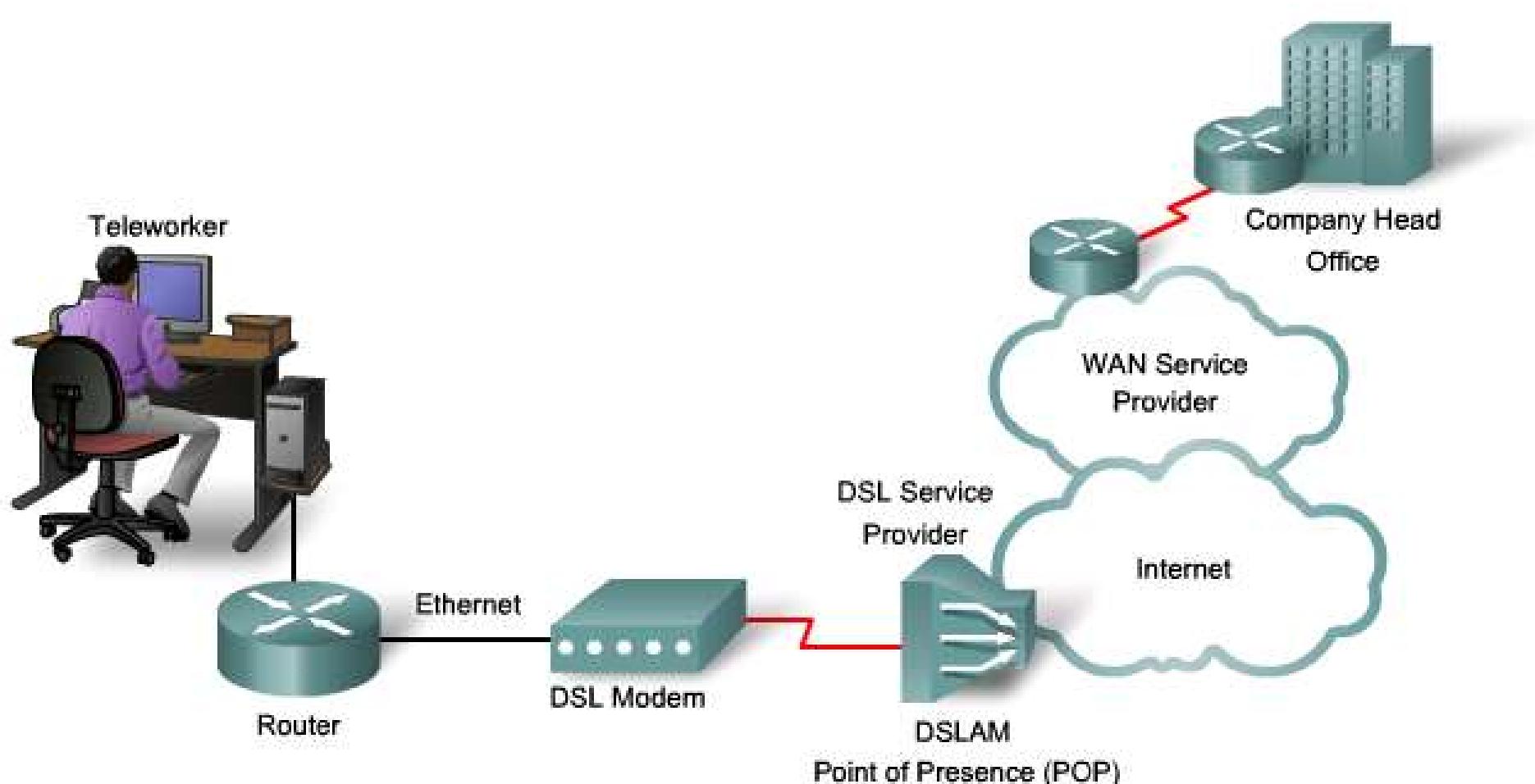
# Modemi

The computer delivers digital signals to the modem via a serial cable.

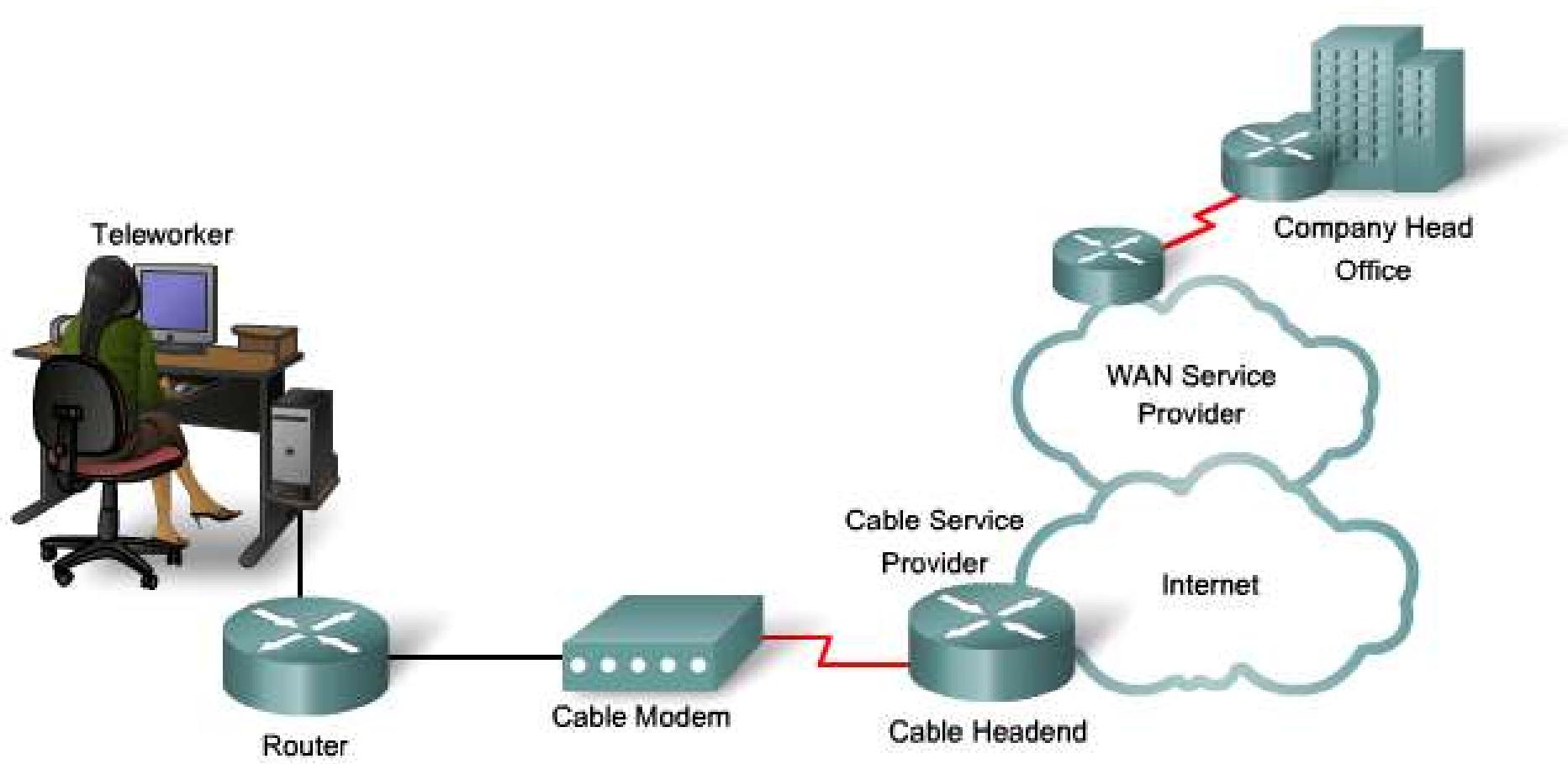
The modem delivers analog voice signals to the telephone system.



# Širokopojasni pristup DSL modemi

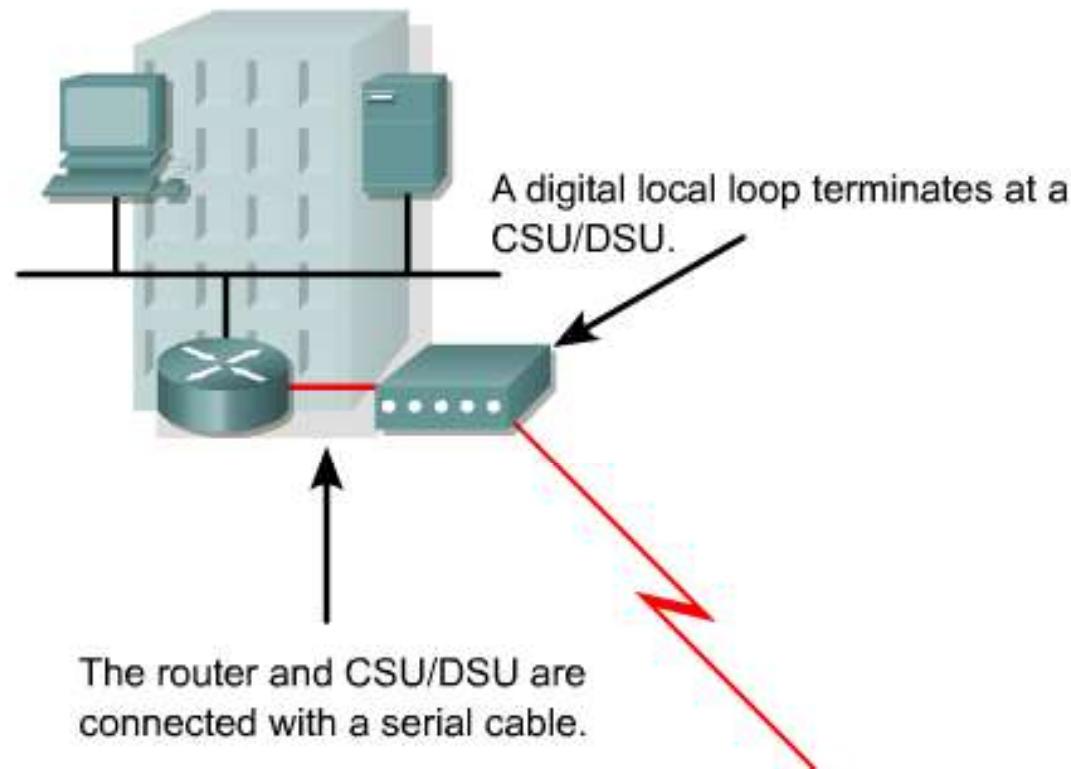


# Širokopojasni pristup Kablovski modem



# WAN uređaji

- CSU – *Channel Service Unit*
  - uređaj povezan na digitalnu liniju (E1, E3, T1, T3...) – veće brzine
- DSU – *Data Service Unit*
  - uređaj koji adaptira fizičku vezu od DTE za transmisiju u digitalni signal preko CSU
- CSU/DSU – obično su integrisani u jedan eksterni uređaj ili u karticu na ruteru



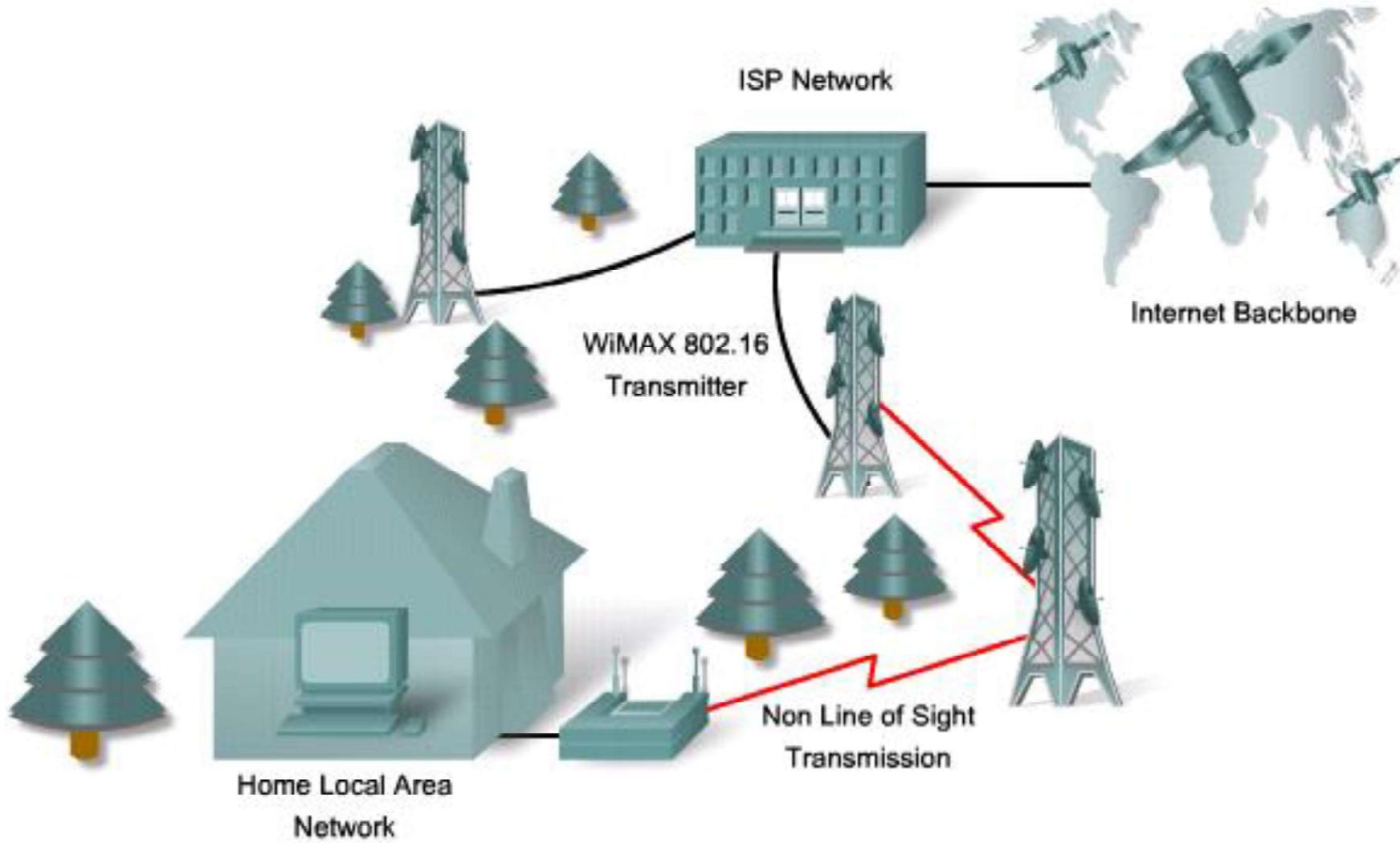
# Sinhronizacija takta

- Sinhronizacija
  - digitalni uređaji na obe strane moraju da usaglase brzinu slanja i primanja podataka, kako bi mogli da komuniciraju
- Klok (clock) – takt kojim se odabiru signali
- Dve strane u komunikaciji:
  - *Master* – definiše klok
  - *Slave* – prilagođava se taktu koji dobije od master-a
- U digitalnim servisima telekom provajder definiše takt (master), a CSU/DSU se prilagođavaju (slave)
- Ruteri dobijaju takt od CSU/DSU uređaja

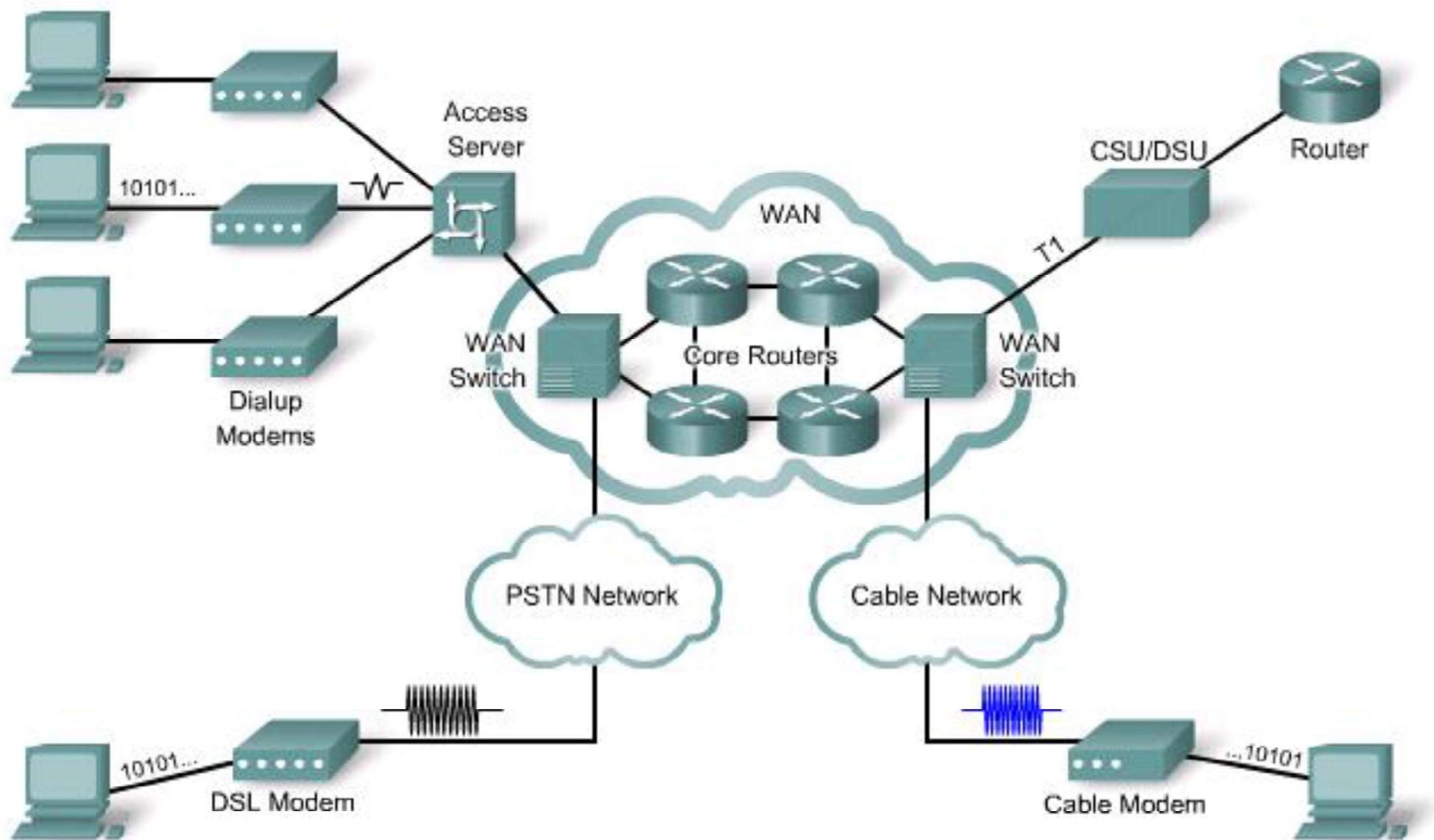
# Tipovi digitalnih veza i brzina

Line Type	Signal Standard	Bit Rate Capacity
56	DS0	56 Kbps
64	DS0	64 Kbps
T1	DS1	1.544 Mbps
E1	ZM	2.048 Mbps
E3	M3	34.064 Mbps
J1	Y1	2.048 Mbps
T3	DS3	44.736 Mbps
OC-1	SONET	51.84 Mbps
OC-3	SONET	155.54 Mbps
OC-9	SONET	466.56 Mbps
OC-12	SONET	622.08 Mbps
OC-18	SONET	933.12 Mbps
OC-24	SONET	1244.16 Mbps
OC-36	SONET	1866.24 Mbps
OC-48	SONET	2488.32 Mbps

# Širokopojasni pristup Bežične veze



# WAN uređaji



# WAN tehnologije

- Layer 1
  - RS-232, RS-449, X.21, V.35, G.703 itd.
- Layer 2
  - HDLC, PPP, Frame Relay, X.25
- Multilayer
  - ISDN, ATM, SDH/SONET

# Layer 1 WAN prenos

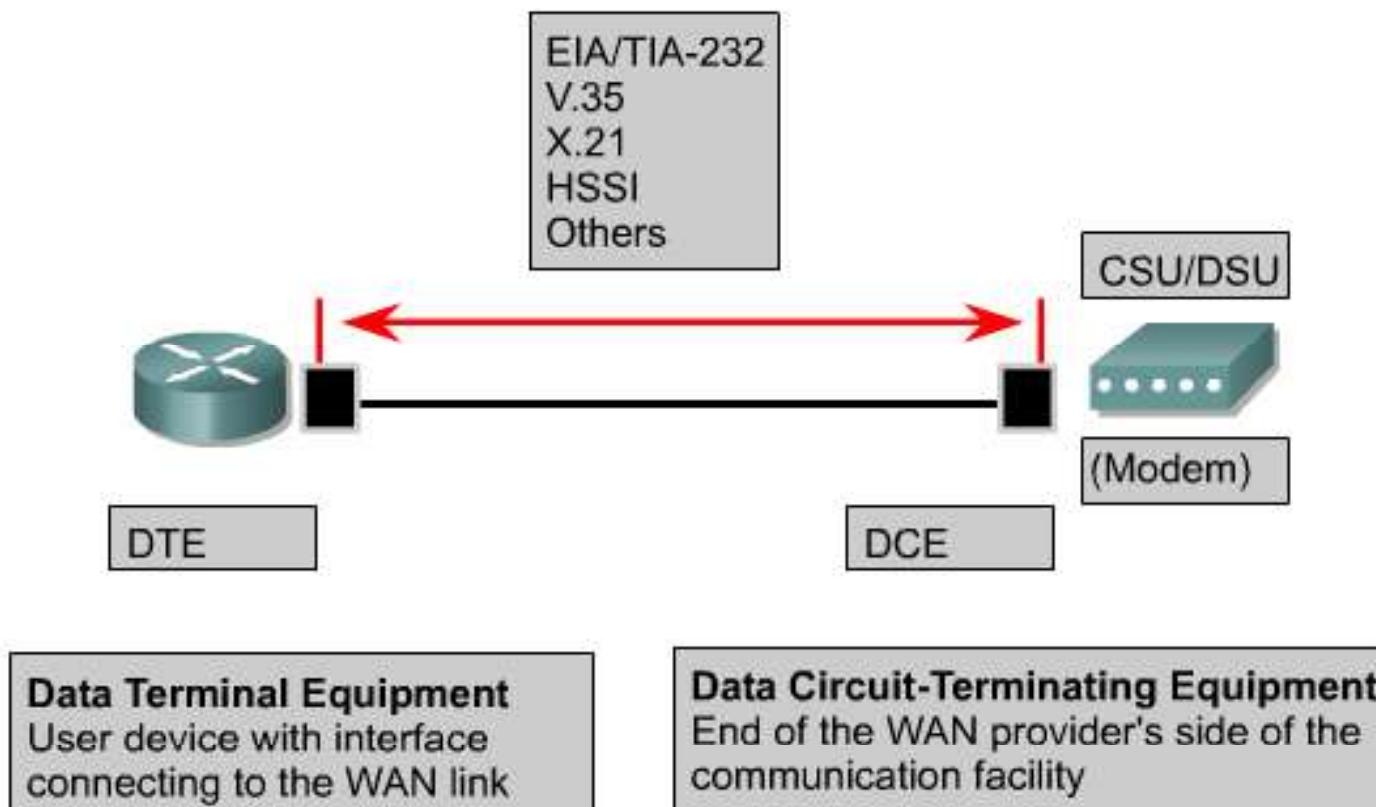
## Serijske veze

- bitovi se prenose serijski preko WAN veza
- Tipovi serijskih veza
  - asinhroni link (do 115.2 kbps)
  - sinhroni link (trenutno do 10 Gbps)
- DCE (*Data Circuit-Terminating Equipment*)
  - uređaj koji se povezuje na mrežu provajdera (Modem, CSU/DSU...)
- DTE (*Data Terminal Equipment*)
  - Uredaj koji se povezuje na DCE (Ruter)

# Layer 1 WAN standardi

## Layer 1 WAN standardi

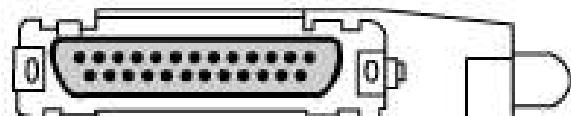
- Definišu električni interfejs za prenos bitova između DTE i DCE uređaja
  - RS-232, RS-449, X.21, V.35, G.703 itd.



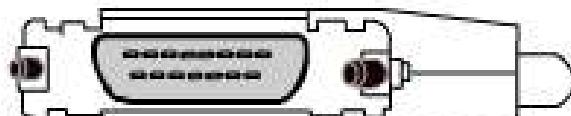
# Konektori (kablovi)



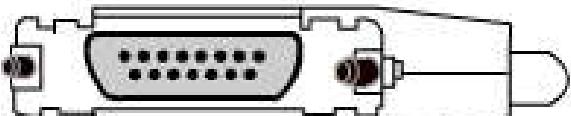
EIA/TIA-232 Male



EIA/TIA-232 Female



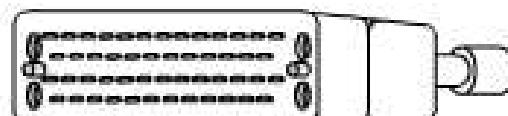
X.21 Male



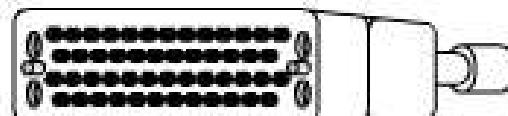
X.21 Female



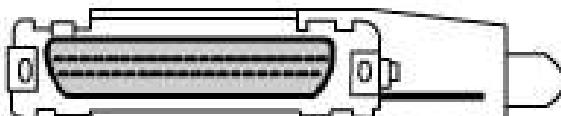
EIA-530 Male



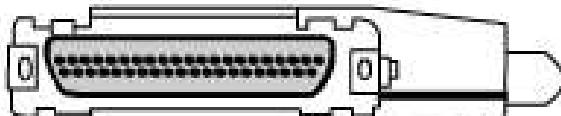
V.35 Male



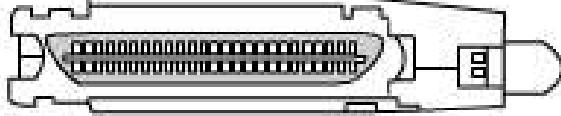
V.35 Female



EIA/TIA-449 Male



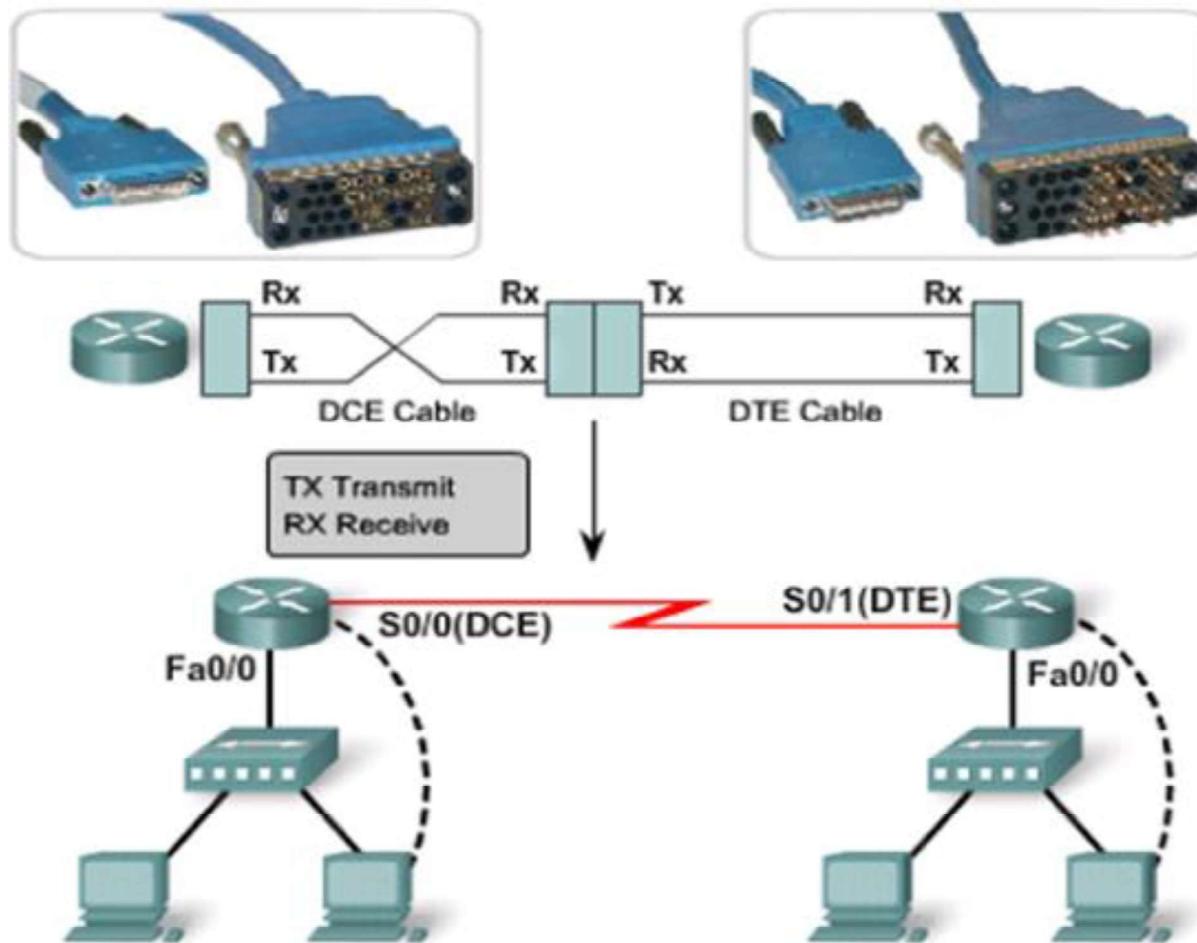
EIA/TIA-449 Female



EIA-613 HSSI Male

# DCE i DTE kablovi

- Povezivanje dva ratera u laboratoriji bez CSU/DSU uređaja – *back-to-back* jedan mora da bude DCE i da daje klok !



# PPP - *Point-to-Point Protocol*

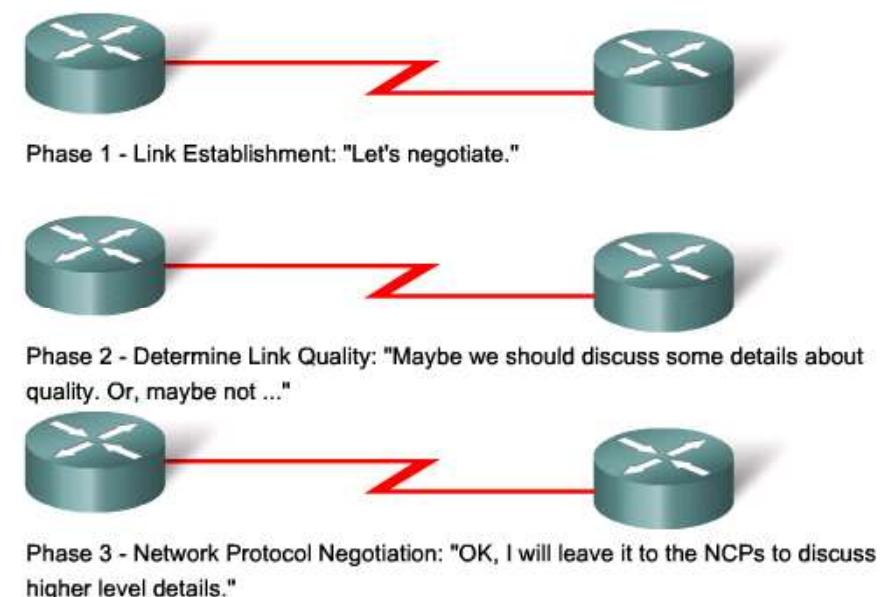
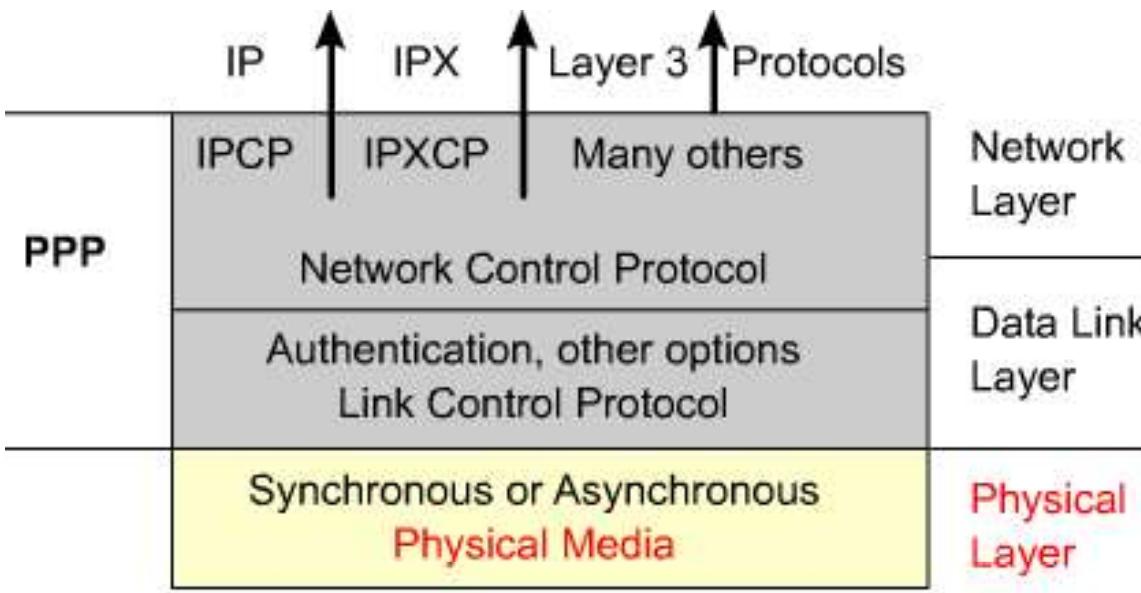
- Layer 2 protokol za prenos preko sinhrone i asinhrone serijske veze
- Unapređena verzija HDLC protokola (*High Level Data Link Control*)
- Arhitektura:
  - L1 nivo - prenos signala preko serijske veze
  - L2 nivo – dva podsloja:
    - ***Link Control Protocol (LCP)***
    - ***Network Control Protocols (NCP)*** - interfejs prema L3 nivou

# PPP – L1 nivo

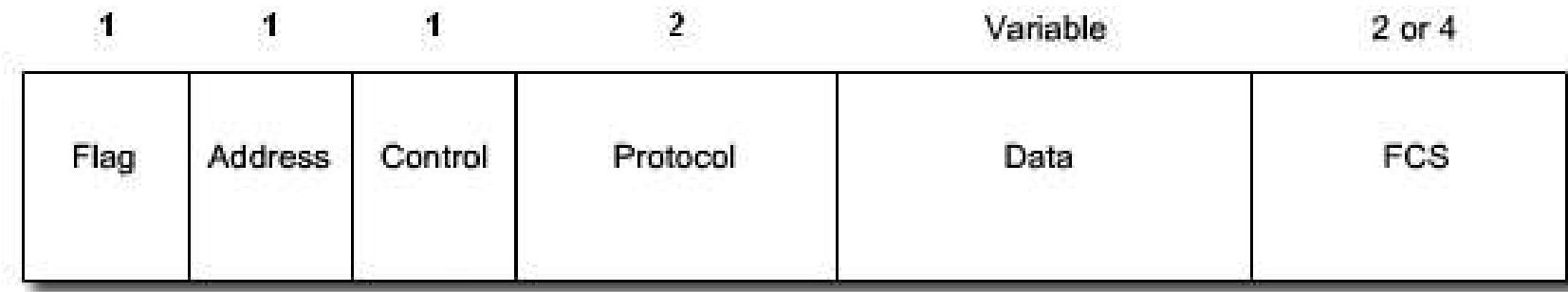
- sinhrone i asinhrone serijske veze:
  - sinhrono
    - prenos digitalnih signala sa unapred usklađenim taktom (brzinom) između učesnika
  - asinhrono
    - prenos digitalnih signala bez unapred usklađenog kloka (brzine) između učesnika
- Karakteristike:
  - podržava različite vrste interfejsa:
    - RS-232, RS-422, RS-423, V.35
  - različite brzine
  - jedini uslov je da se radi o dvosmernoj vezi

# PPP – L2 nivo

- L2 nivo – dva podsloja:
  - ***Link Control Protocol (LCP)***
    - Uspostavljanje veze i pregovaranje o konfiguraciji
    - Određivanje kvaliteta veze – opcionalno
  - ***Network Control Protocols (NCP)***
    - Interfejs prema L3 nivou
    - Pregovaranje o konfiguraciji mrežnog sloja



# Format PPP okvira

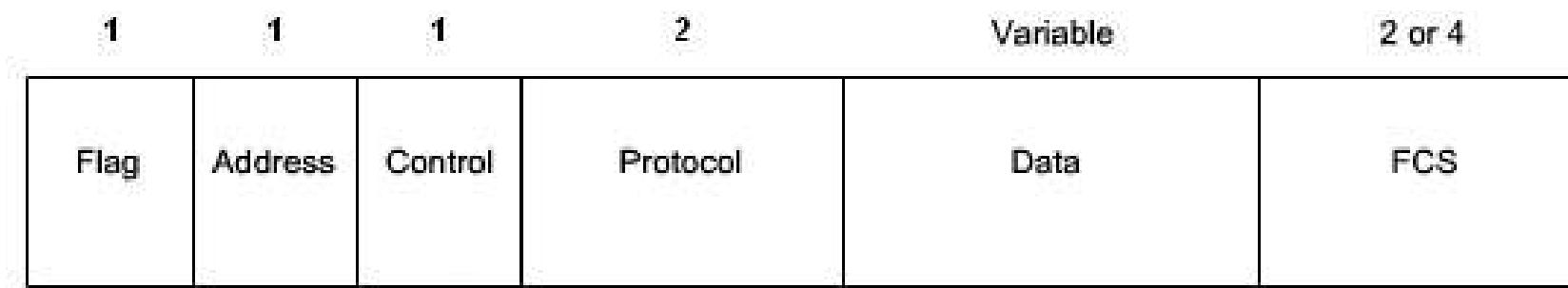


## Polje Flag

- Označava početak i kraj svakog okvira - 8 bita, uvek "01111110"
- Šta ako se ova vrednost nađe negde u sredini okvira?
- Ne sme dozvoliti šest uzastopnih jedinica ostatku okvira
  - pošiljalac - nakon svakih pet uzastopno poslatih jedinica, veštački se dodaje jedna nula ("11111" => "111110")
  - prijemnik - nakon svakih primljenih pet uzastopnih jedinica:
    - ako se primi nula, ona se ignoriše ("111110" => "11111")
    - ako se primi jedinica, radi se o Flag polju – kraj okvira ("01111110")
- Kada se okviri šalju u kontinuitetu, flag polje koje označava kraj prethodnog okvira istovremeno se koristi za početak narednog okvira

# Format PPP okvira

- Address – ne koristise, uvek fiksna vrednost: 0xFF (“11111111”)
- Control – uvek fiksna vrednost: 0x03 (“00000011”)
- Protocol – identifikacija protokola L3 nivoa, default 2 bajta, ali se može koristiti i 1 bajt (ako se obe strane o tome dogovore)
- Data - enkapsulirani podaci viših podslojeva i slojeva, *default* je max. 1500 bajta
- FCS – *Frame Check Sequence* – provera greške okvira (CRC)



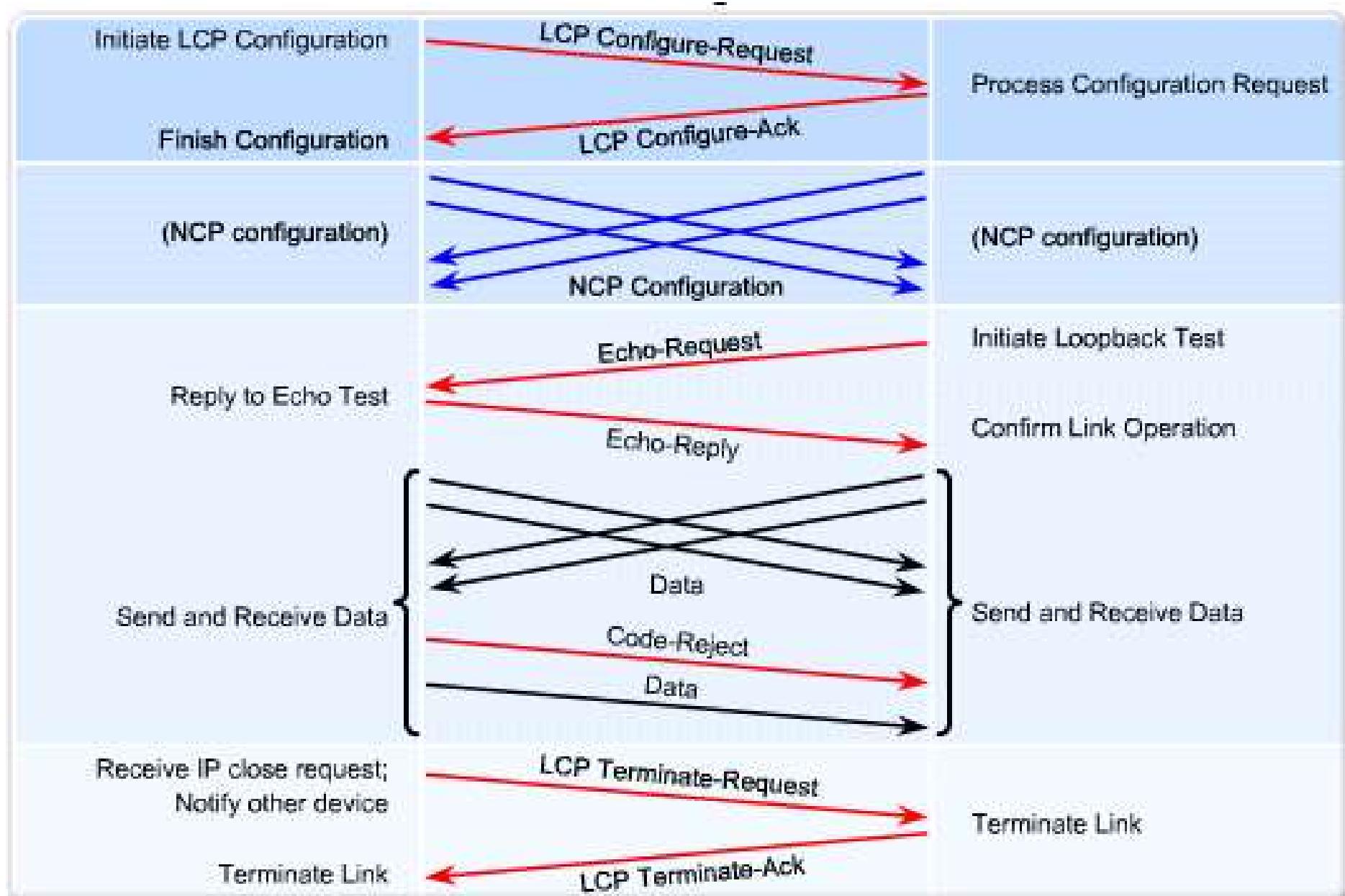
# PPP - LCP

- LCP – *Link Control Protocol*
  - centralni deo PPP
  - nezavistan od protokola L3 nivoa
- Funkcije
  - uspostavljanje, održavanje i raskidanje veze
  - pregovara između učesnika (*negotiation*)
  - postavlja kontrolne opcije
  - automatski konfiguriše obe strane:
    - usklađuje različite limite u veličini okvira
    - detektuje pojedine greške u konfiguraciji
    - detektuje greške na linku

# PPP - LCP

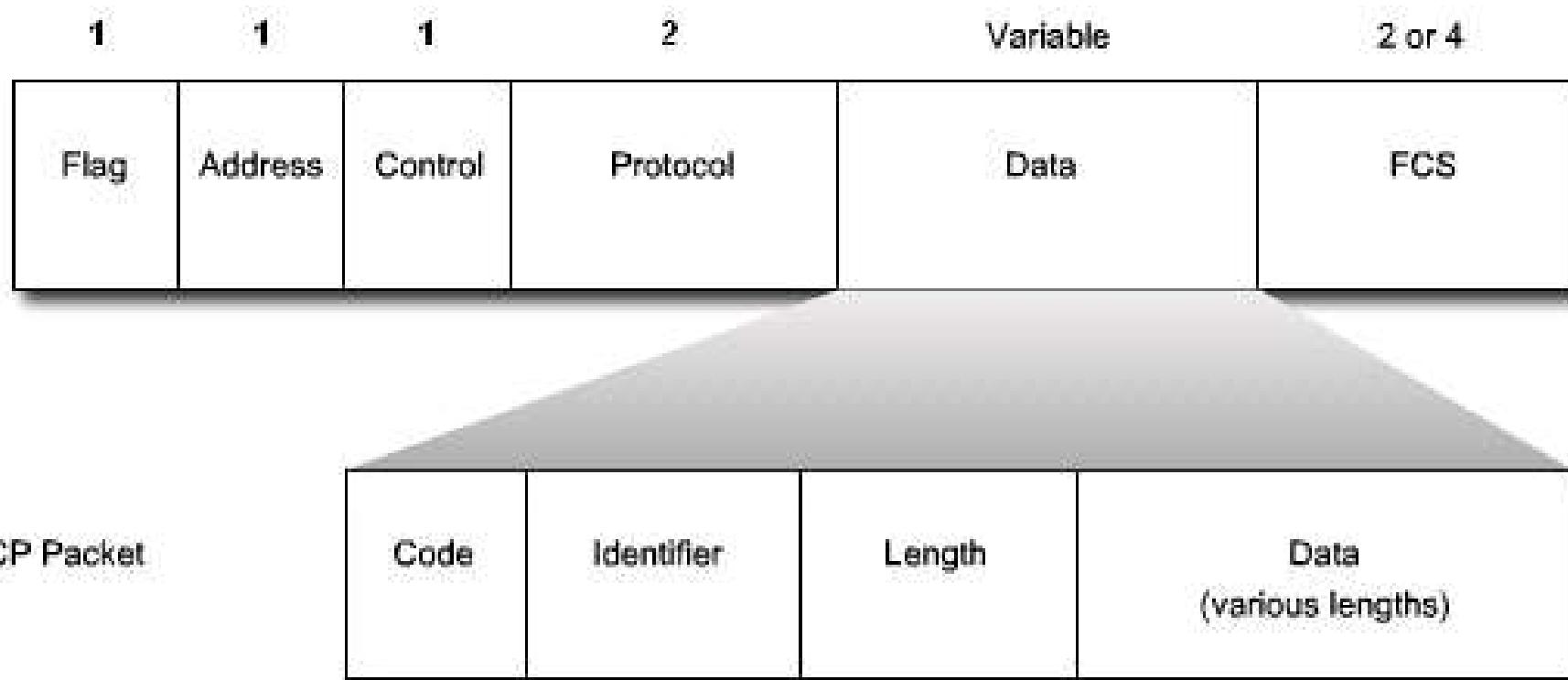
- Tri vrste okvira:
  1. **Link-establishment frames** - Okviri za uspostavljanje veze
    - *Configure-Request* – inicijalizuje vezu
    - *Configure-Ack* – prihvata vezu, prelazi se u sledeću fazu...
    - *Configure-Nak*, *Configure-Reject* – odbija vezu
      - npr. nisu prepoznati parametri
      - pokušava se ponovo uspostavljanje sa novim parametrima
  2. **Link-maintenance frames** - Okviri za održavanje veze
    - *Code-Reject*, *Protocol-Reject* – ne prepoznaže se LCP kod ili protokol
    - *Echo-Request*, *Echo-Reply*, *Discard-Request* – testiranje veze
  3. **Link-termination frames** - Okviri za raskidanje veze
    - *Terminate-Request* – zahteva raskidanje veze
    - *Terminate-Ack* – prihvata raskidanje veze

# PPP - LCP



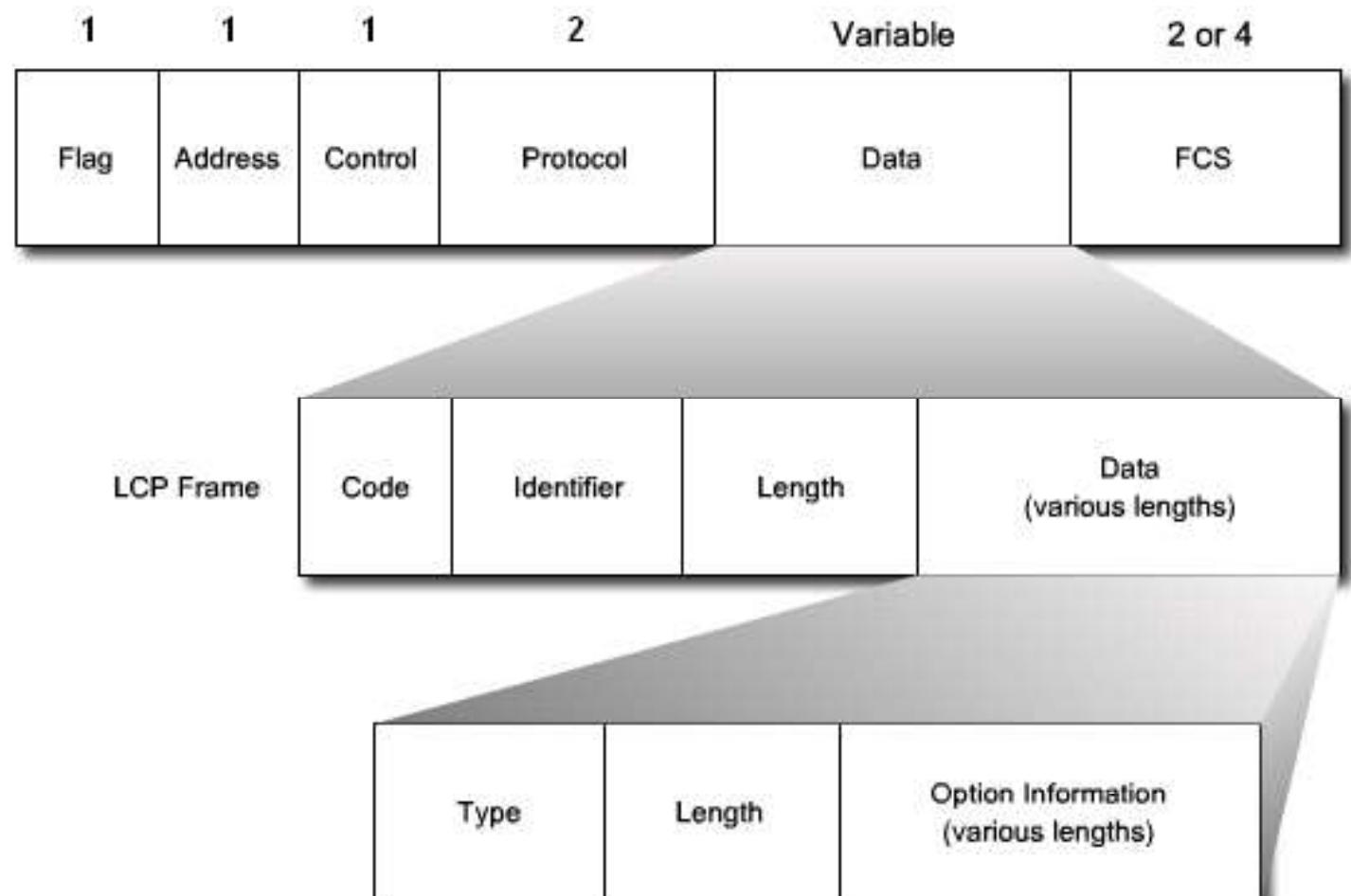
# Format LCP okvira

- *Code* – tip LCP okvira, 1 bajt
- *Identifier* – koristi se za uparivanje *request* i *replay*, 1 bajt
- *Length* – ukupna dužina LCP okvira, 2 bajta
- *Data* – podaci viših podslojeva i slojeva, 0 ili više bajtova



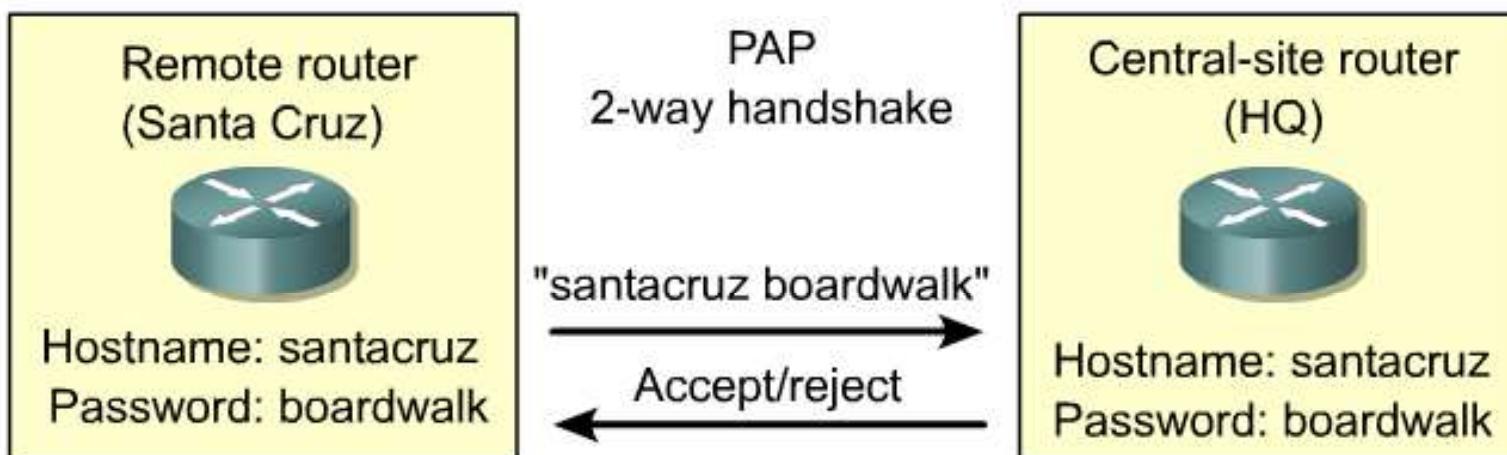
# PPP opcije

- PPP podržava različite opcione funkcije:
  - Autentifikacija učesnika
  - Kompresija podataka
  - Mult-link povezivanje
  - detekcija grešaka
  - call-back podrška



# PPP autentifikacija

- Autentifikacija – međusobna provera identiteta
- Dve vrste: PAP i CHAP
- *Password Authentication Protocol (PAP)*
  - 2 koraka:
    - Klijent šalje lozinku u čistom tekstu, i to samo na početku uspostavljanja sesije
    - Druga strana prihvata ili odvija vezu
  - nesigurno – prisluškivanjem linije se lako može saznati lozinka, neautorizovano se povezati na liniju i lažno se predstaviti

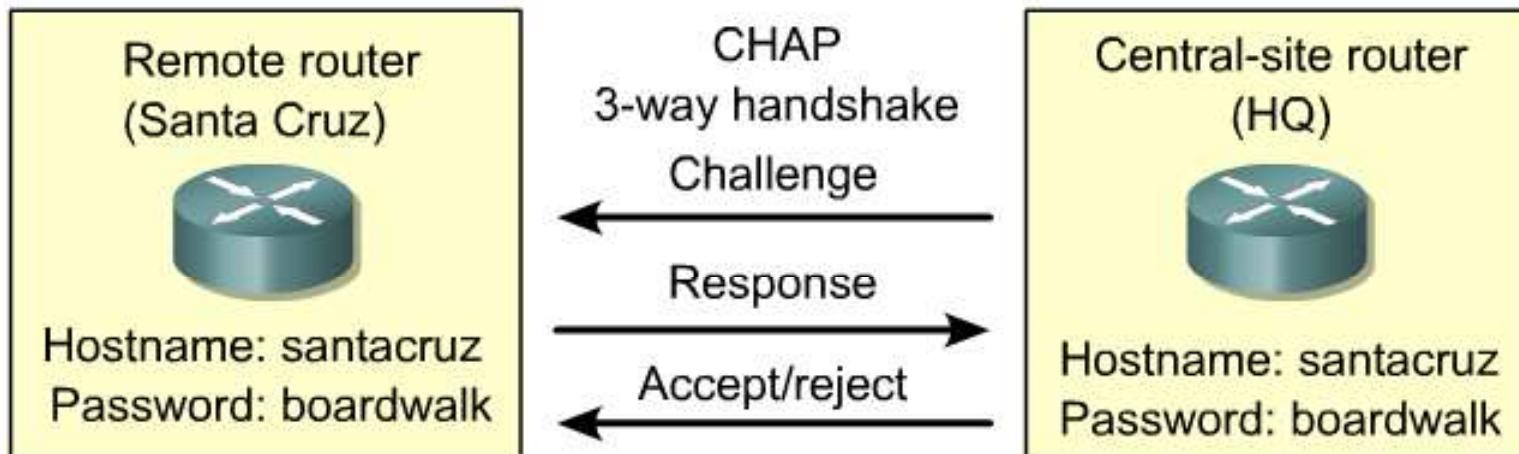


# PPP autentifikacija

- *Challenge Authentication Protocol (CHAP)*

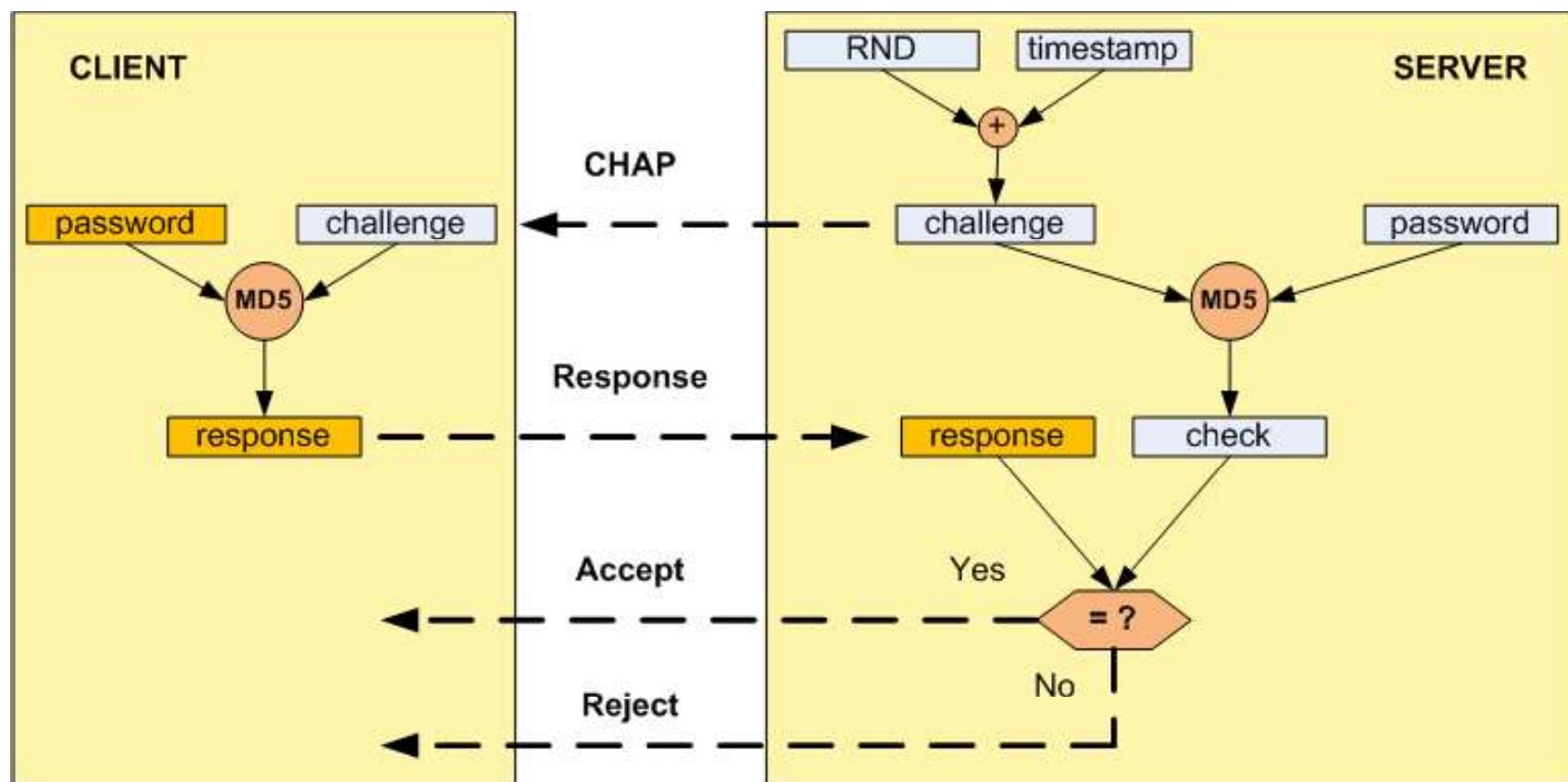
3 koraka:

- Challenge - Server šalje *challenge* – kombinacija vremena i slučajnih podataka
- Response - Klijent dodaje lozinuku i vraća vrednost izračunatu unapred poznatim algoritmom (MD5)
- Accept/Reject - Server sam računa tu vrednost na osnovu lokalnih podataka i poređi je sa dobijenom vrednosti



# PPP autentifikacija

- Primer

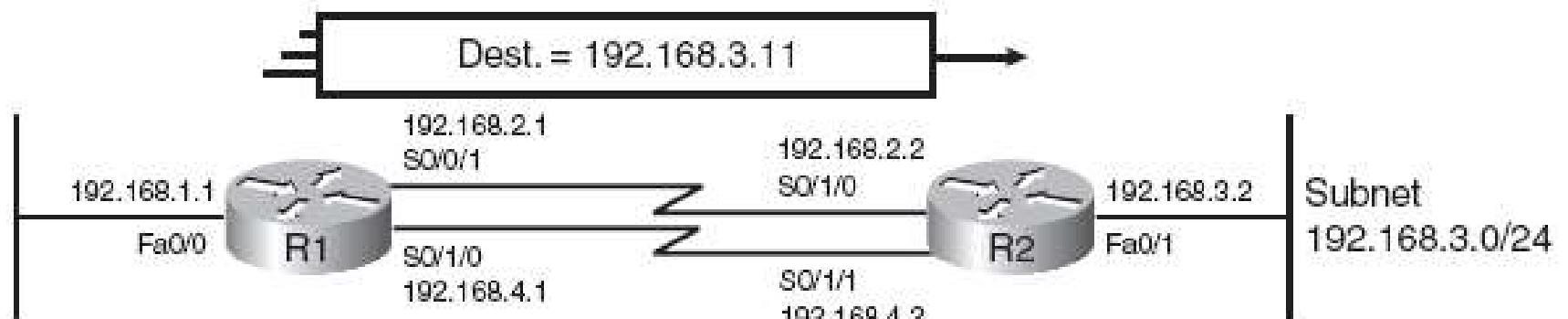


# PPP algoritmi kompresije

- **Predictor**
  - Predviđa se sekvenca karaktera u nizu podataka
  - Tabela čestih sekvenci – “rečnik kompresije”
  - Prepoznati nizovi se zamenjuju sa indeksima u “rečniku”
- **STAC**
  - realizovan od strane STAC Electronics
  - Lempel-Ziv (LZ) tip algoritma kompresije
  - U ulaznom nizu podataka traže se sekvence koje se ponavljaju
  - Pronađene sekvence se zamenjuju sa tzv. indeksima (*tokens*), koji su kraći od originalnog niza karaktera
- Problem je prenos već komprimovanih podataka
  - ponovna kompresija će da prouzrokuje duže rezultujuće podatke umesto da ih skrati

# PPP Multilink

- Mehanizam kojim se više fizičkih serijskih veza spajaju u jednu logičku
- Svaki datagram se deli na delove fiksne veličine koji se naizmenično šalju preko svakog od serijskih linkova
- Ukupan kapacitet veze se sumira



R1 Routing Table

Subnet	Outgoing Int.
192.168.3.0/24	S0/0/1
	S0/1/0

Dest. = 192.168.3.12

# PPP – detekcija greške

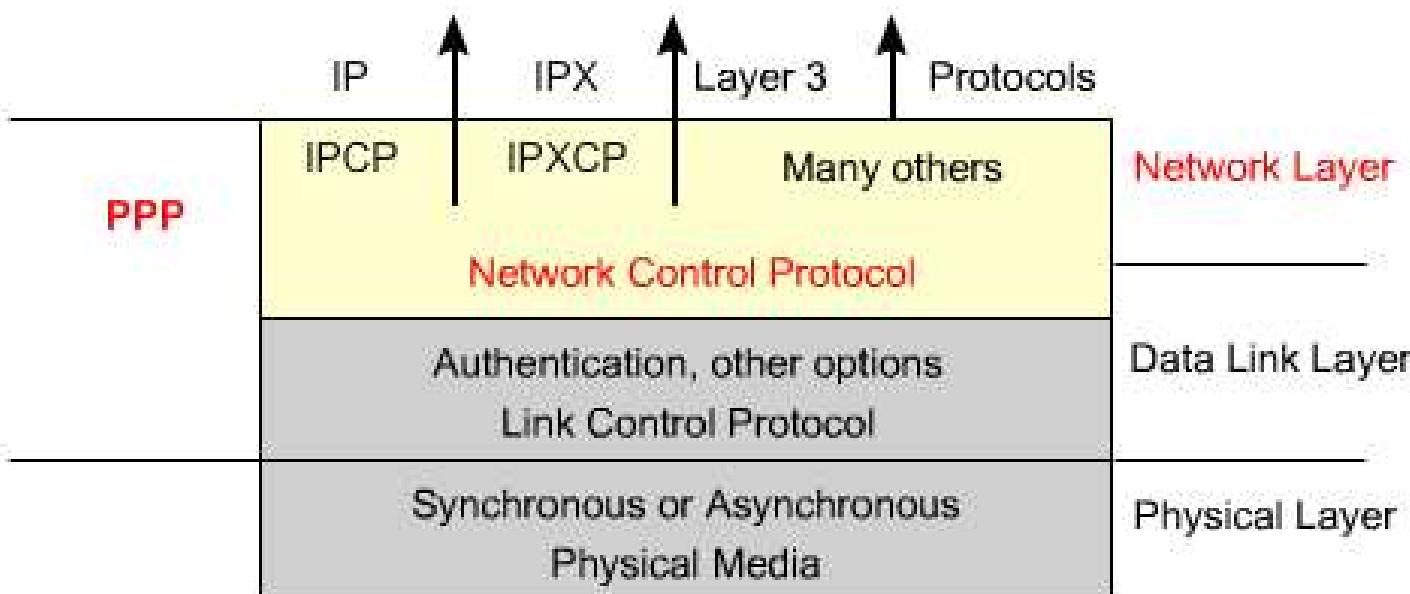
- LQM - *Link Quality Monitoring*
  - koristi LCP radi utvrđivanja broja grešaka pri prenosu
- LCP obe strane povremeno šalje poruke sa brojem ispravno primljenih paketa i bajtova
- Na drugoj strani se porede ovi podaci sa ukupno poslatim paketima i bajtovima
- Na osnovu toga se računa procenat grešaka u prenosu
- U slučaju da je procenat grešaka veći od konfigurisanog, LCP je da prekine vezu
- Ima smisla samo u slučaju rezervnih (backup) veza, koje će da se tada aktiviraju

# PPP – *callback*

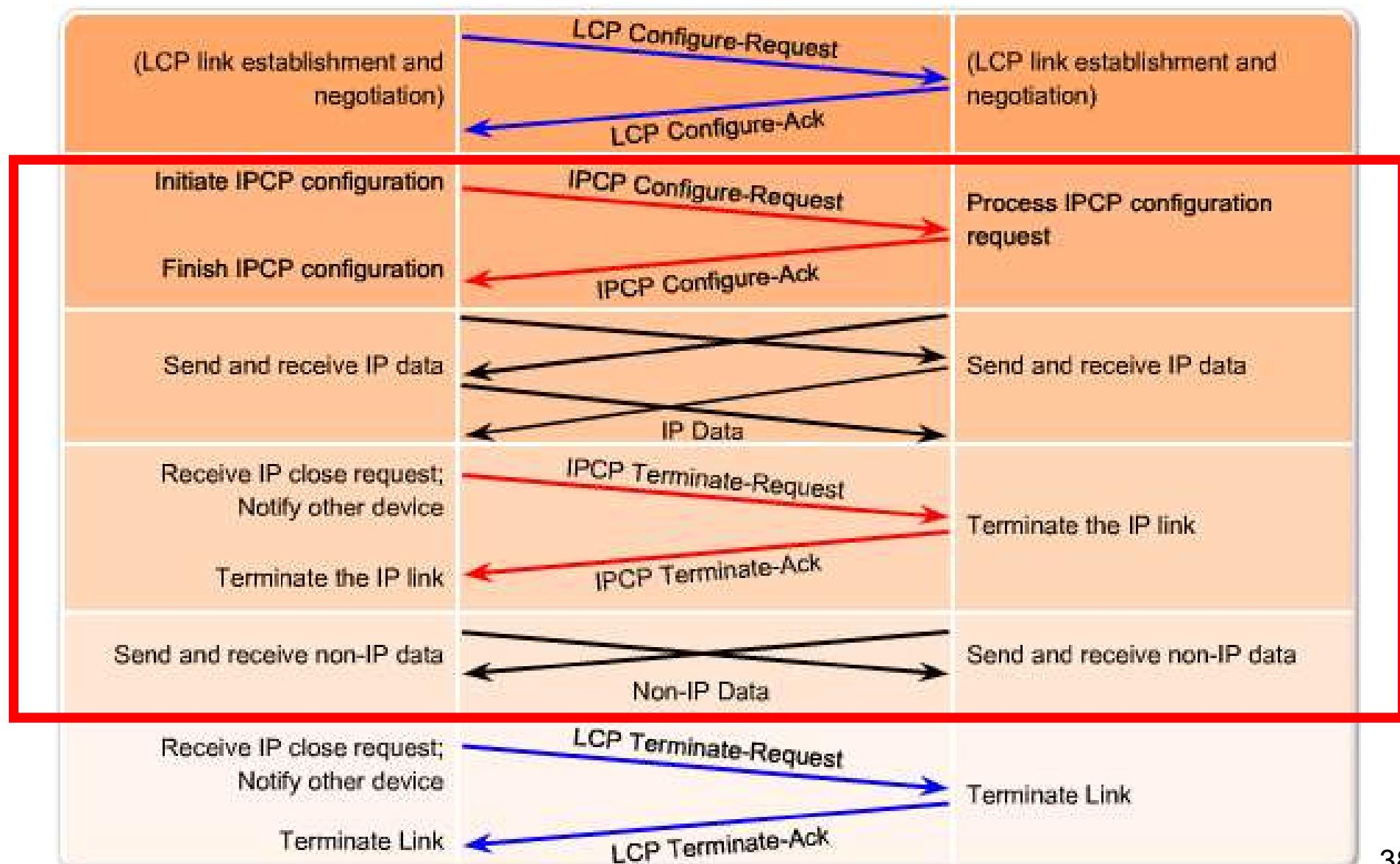
- *Callback* – “povratni poziv”
  - *callback klijent* i *callback server*
  - klijent inicira poziv, zahteva povratni poziv i prekida vezu
  - server inicira novi poziv (“povratni poziv”) prema klijentu na bazi konfigurisanih parametara
- Povećana sigurnost
  - server može da odbije neželjenog klijenta, ako nije klijent konfiguriran

# PPP NCP protokoli

- NCP – *Network Control Protocol*
  - uspostavlja i konfiguriše različite protokole mrežnog nivoa (L3)
  - kada je NCP sesija uspostavljena, paketi između mrežnih slojeva mogu da se razmenjuju
  - kada sesija zatvori, mrežni slojevi se o tome informišu
- Primeri
  - IPCP (razmenjuje IP adrese krajeva linka, IP adrese DNS servera itd.)
  - IPXCP, CDPCP...



# PPP NCP - primer za IP

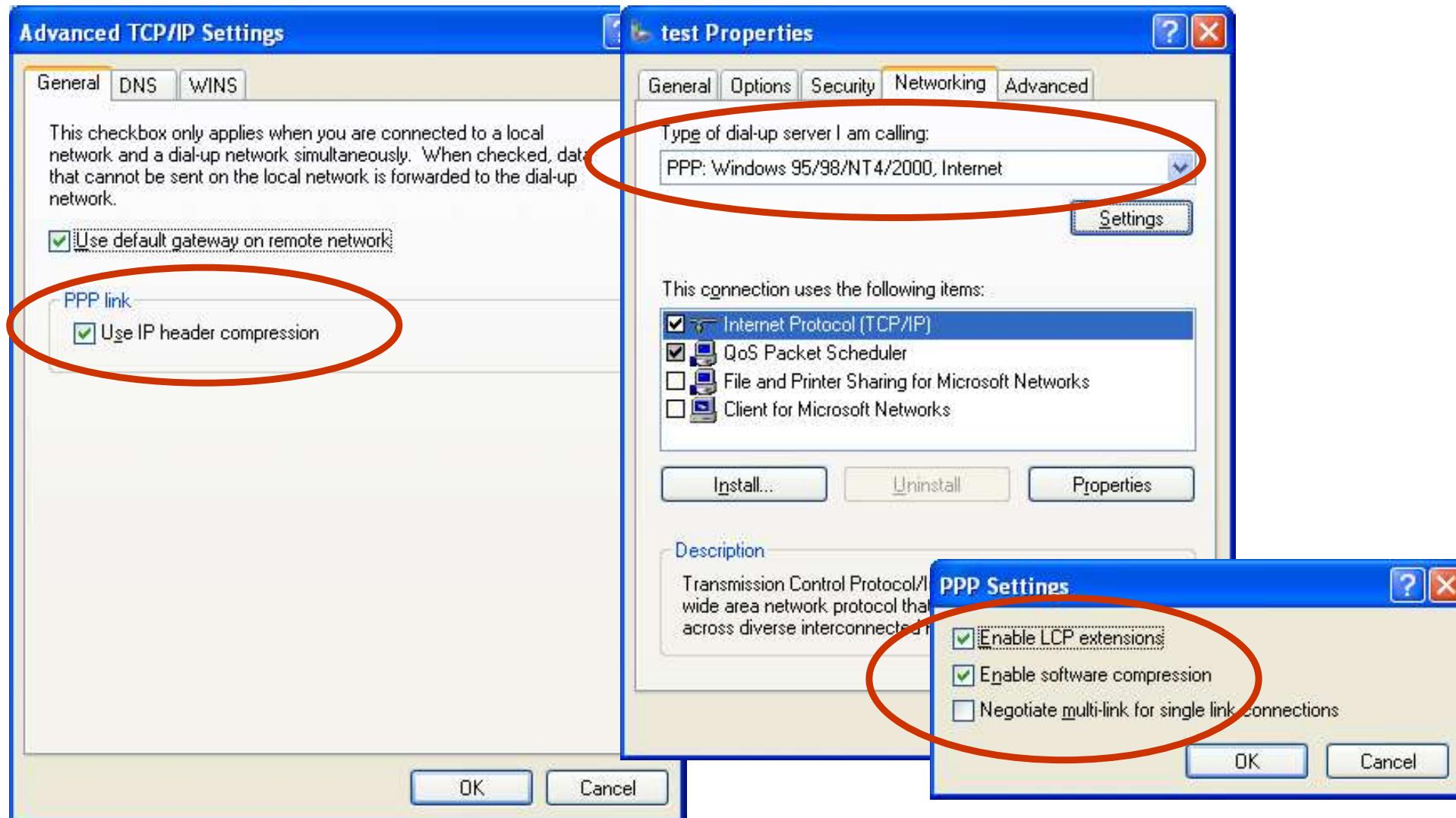


# PPP NCP - primer za IP

## IPCP

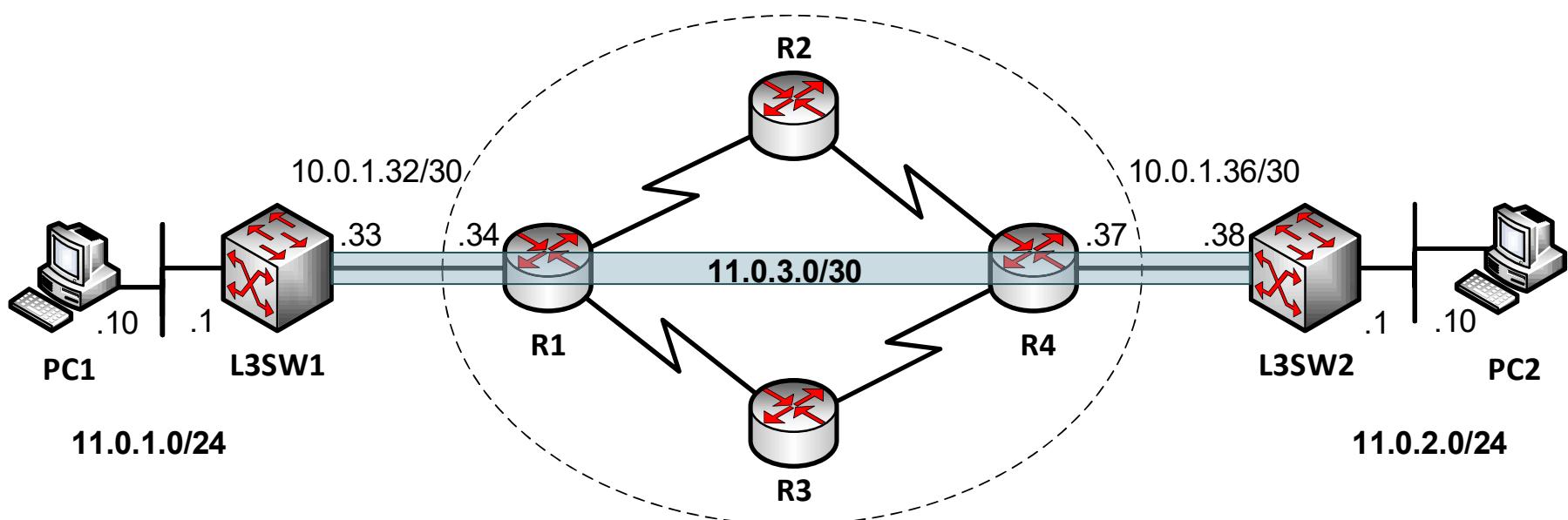
- usaglašavaju se dve opcione mogućnosti:
  - Kompresija TCP/IP hedera (L4 i L3)
    - moguće smanjenje na svega 3 bajta koršćenjem Van Jacobson algoritma
    - značajno na sporim linijama sa malim IP paketima (relativna dobit je značajna)
  - IP address – mogućnost specificiranja IP adrese, npr. kod *dial-up* korisnika

# PPP na Windows računarima



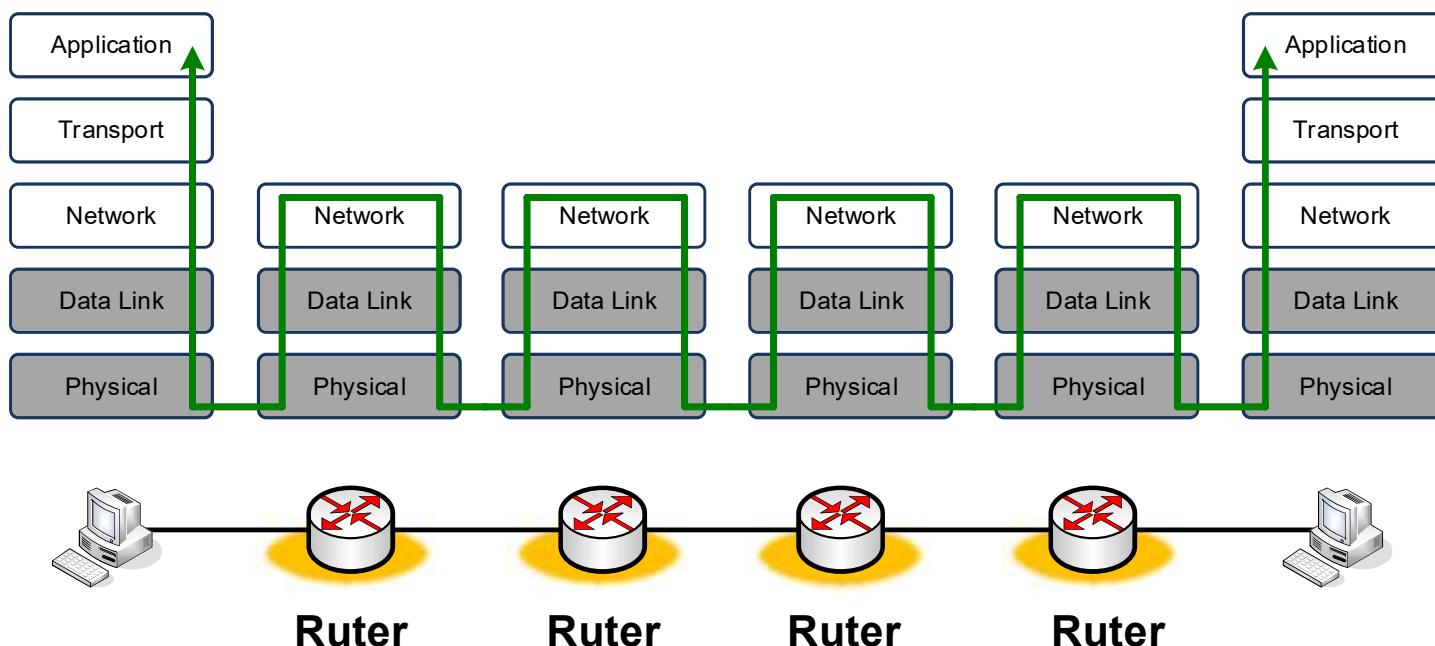
# Tunneling

- GRE - *Generic Routing Encapsulation*  
RFC 2784



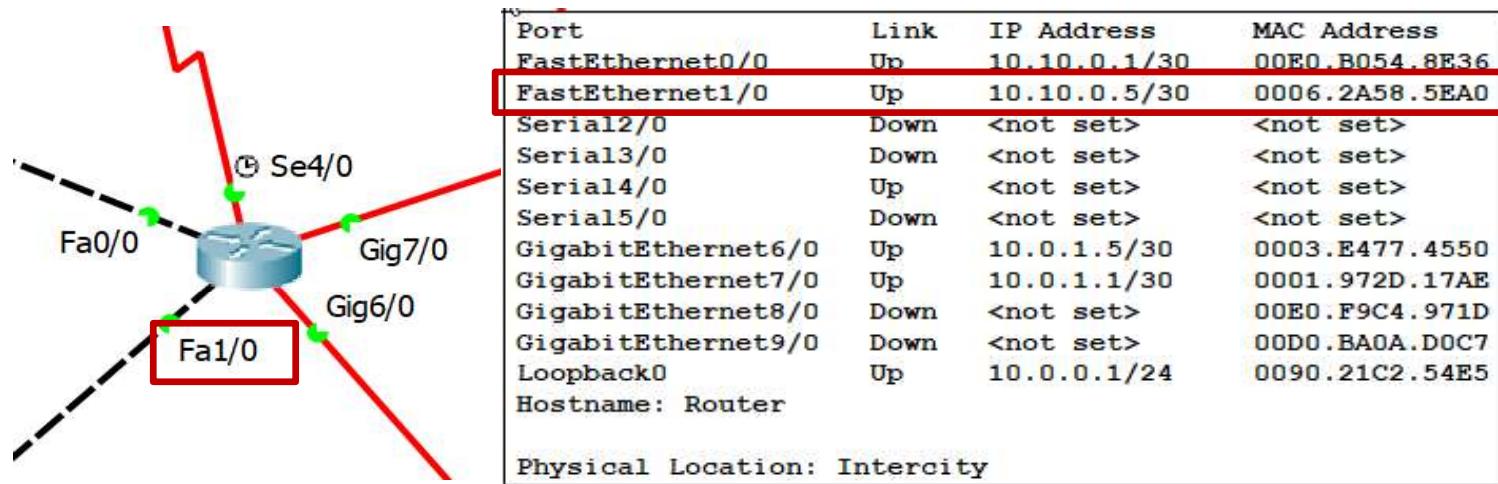
# Ruteri

- Ruter (*router, gateway*) - komunikacioni uređaj trećeg nivoa
  - Primaju pakete na ulazni interfejs i raspakuju ga do trećeg nivoa
  - Gledaju odredišnu IP adresu iz zaglavlja paketa
  - Određuju izlazni interfejs koji na vodi do odredišta



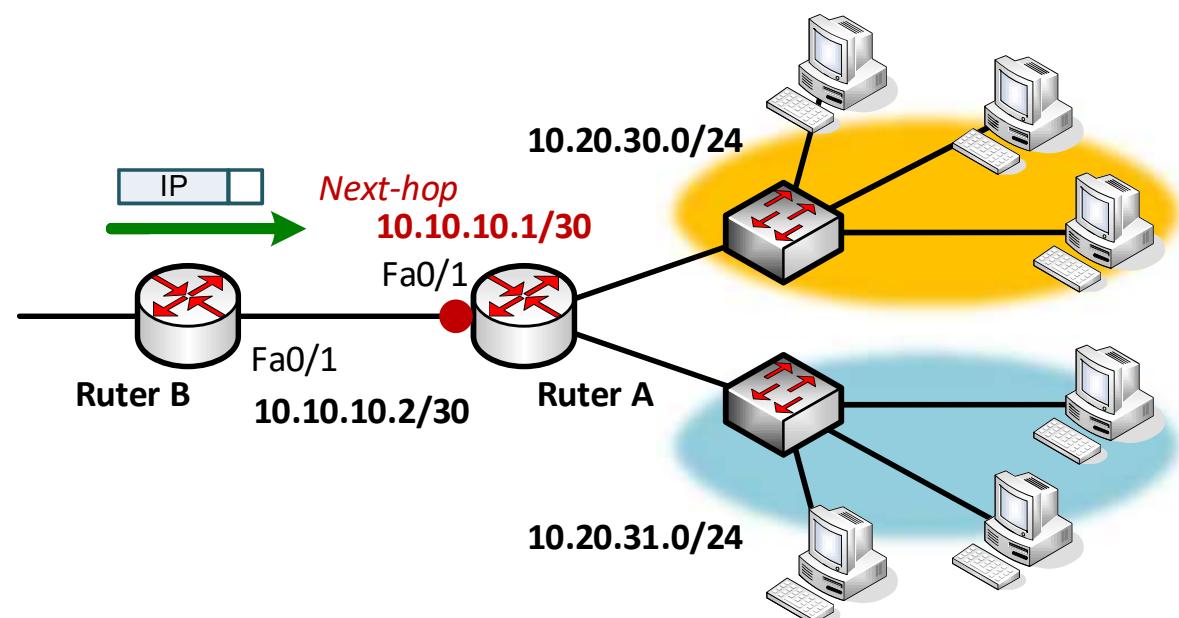
# Ruteri

- Interfejsi ratera imaju:
  - Naziv
    - Simboličko ime vrste interfejsa (*Serial, FastEthernet, GigabitEthernet...*)
    - Numerička oznaka (indeks) interfejsa (modul/kartica/port)
  - IP adresa
  - MAC adresa – za LAN portove



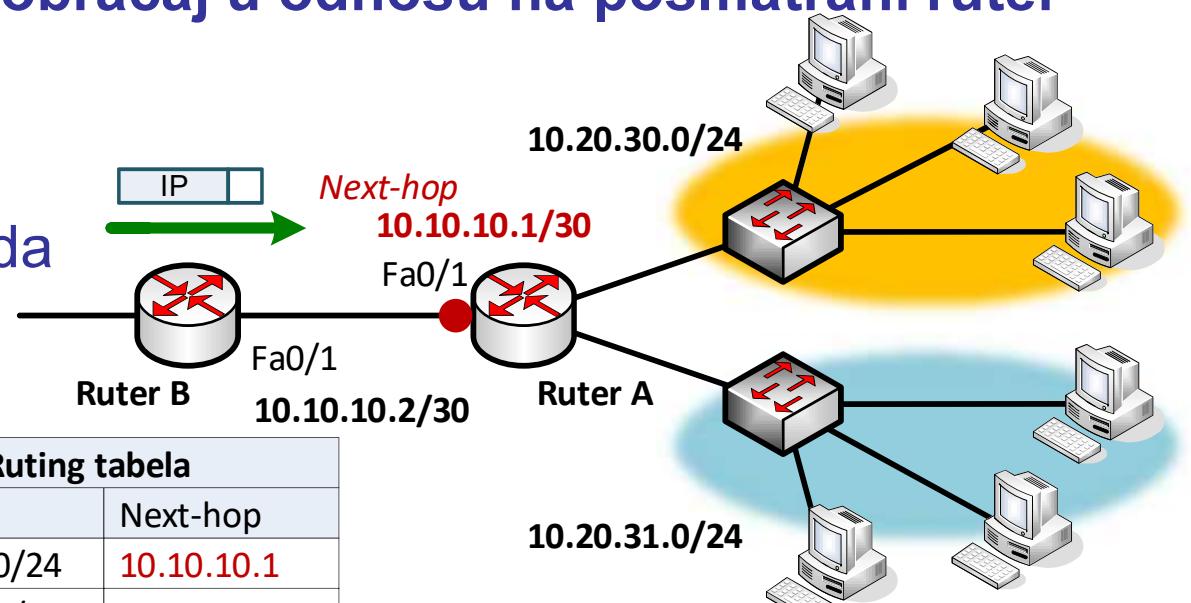
# Next-hop

- **Next-hop**
  - “Sledeći korak na putu paketa prema odredišnoj mreži”
  - **IP adresa interfejsa susednog rutera na zajedničkom linku ili mreži**
- Primer
  - Za mreže  $10.20.30.0/24$  i  $10.20.31.0/24$  na Ruteru 1, *next-hop* je adresa **10.10.10.1**



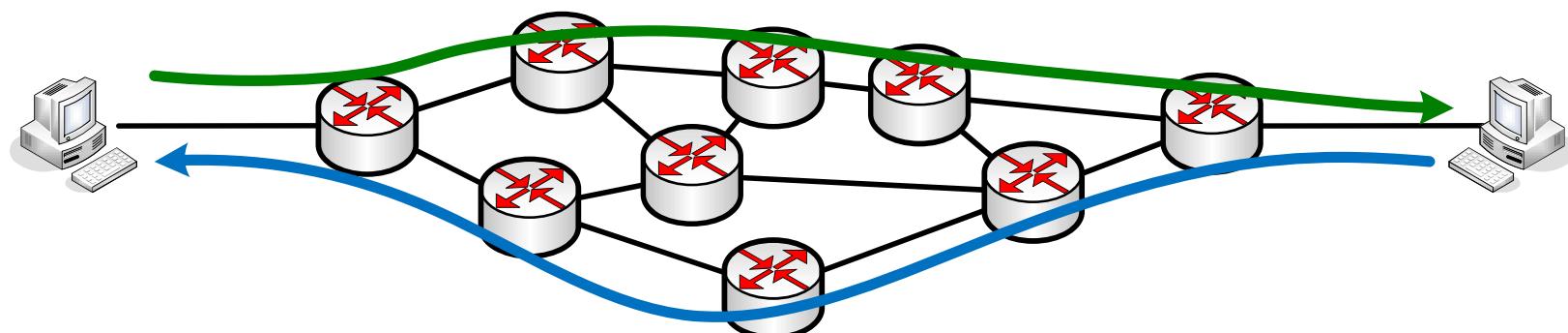
# Tabela rutiranja

- Rutiranje
  - Prosleđivanje paketa na određenu *next-hop* adresu prema odredištu – *Destination-based* (tačnije: prema odredišnoj IP mreži !)
- Tabela rutiranja (ruting tabela)
  - Sadrži IP mreže i njima pridružene *next-hop* adrese (koje vode do njih)
  - „Ruta“ – red u ruting tabeli (mreža i *next-hop*)
  - Ruterov pogled na ostatak mreže – „gde se nalazi koja mreža“
  - **Utiču samo na odlazni saobraćaj u odnosu na posmatrani ruter**
- Rutiranje
  - Za odredišnu IP adresu se traži mreža kojoj ona pripada i paket se upućuje na odgovarajući *next-hop*



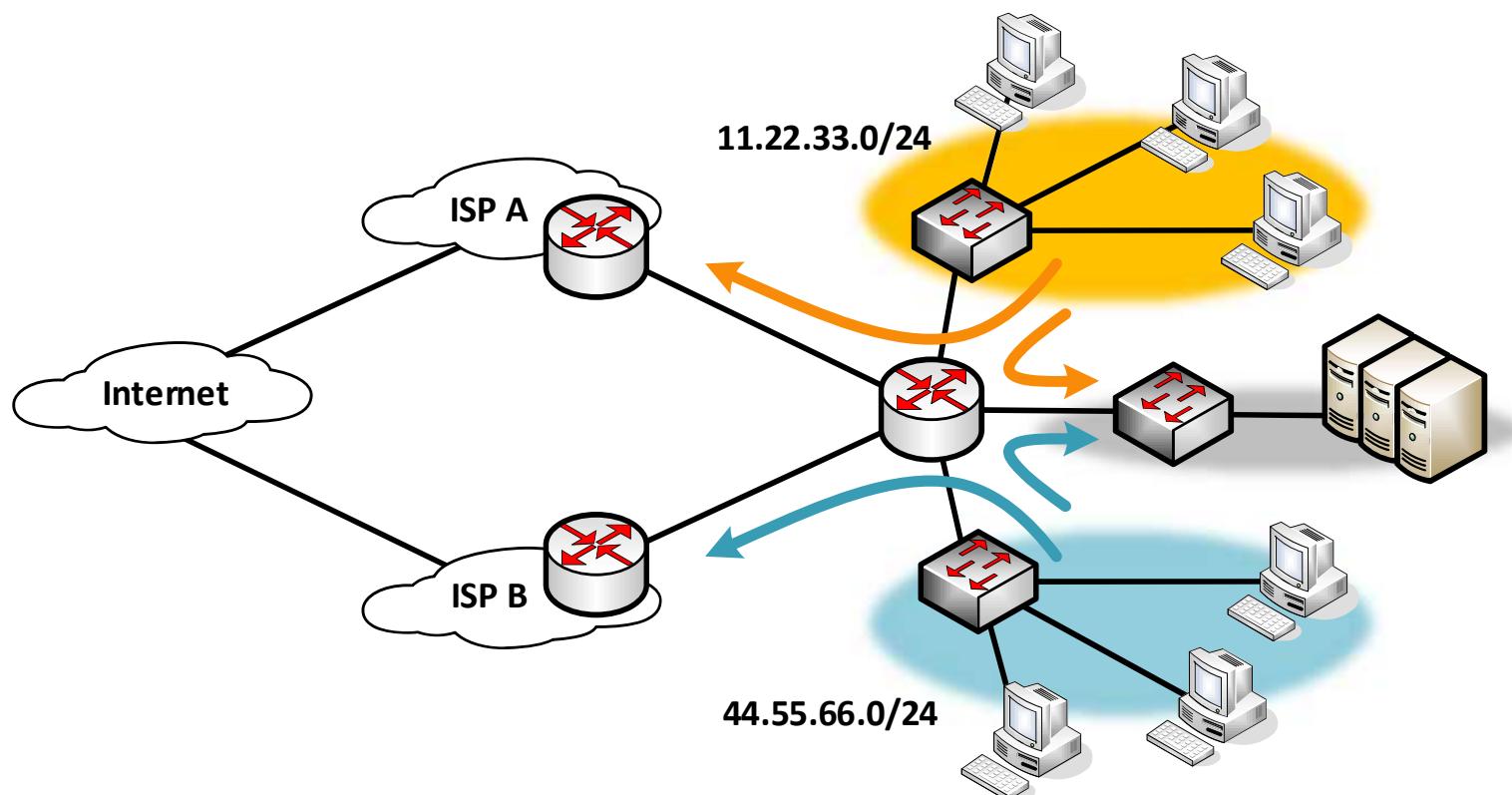
# Principi rutiranja

- Principi rutiranja:
  - Svaki ruter samostalno donosi odluku o rutiranju, na osnovu ruta iz svoje ruting tabele
  - Različiti ruteri sadrže različite ruting tabele
  - Ruting tabela jednog rutera utiču na prosleđivanje paket prema odredištu, ali ne i na povratni put
- Posledice:
  - Paketi se rutiraju kroz mrežu od jednog rutra do drugog (*hop-by-hop*)
  - Paketi se nezavisno rutiraju u oba smera
    - Po istom putu (simetrično) ili po različitim putevima (asimetrično)



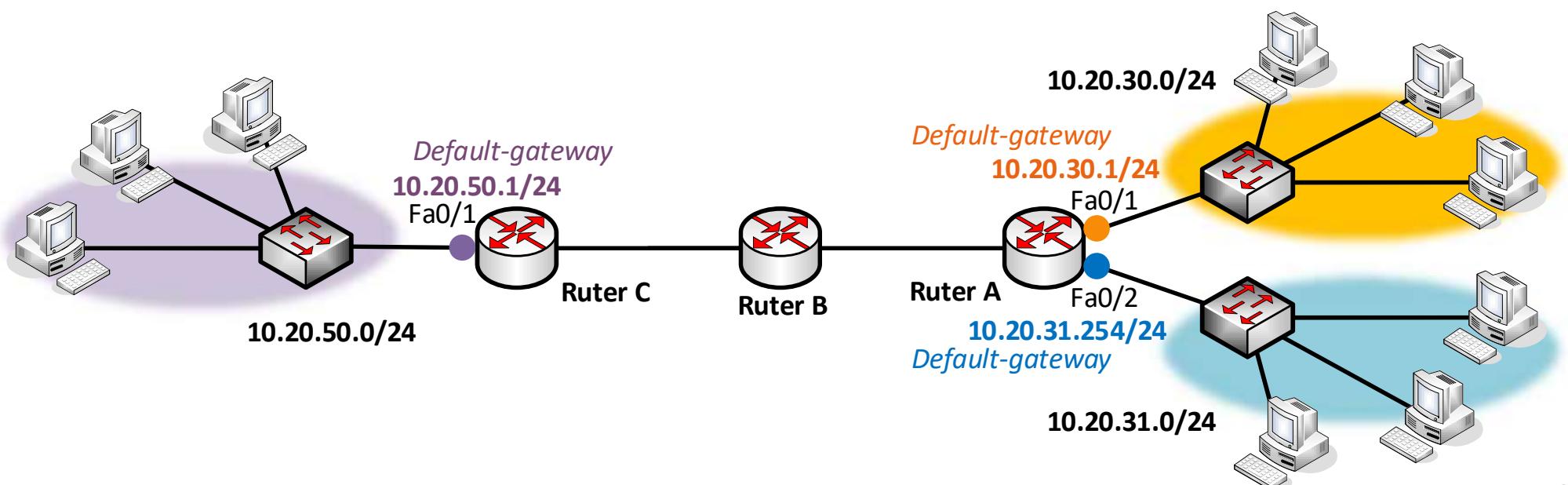
# Rutiranje – *Destination vs. Source*

- Rutiranje na osnovu odredišne adrese (*Destination-based*)
  - Uobičajeno rutiranje na osnovu ruting tabele
- Rutiranje na osnovu izvorišne adrese (*Source-based*)
  - U zavisnosti od izvorišne adrese paketi se rutiraju na određene *next-hop* adrese
  - Specifični slučajevi „forsiranja“ rutiranja na određene interfejse



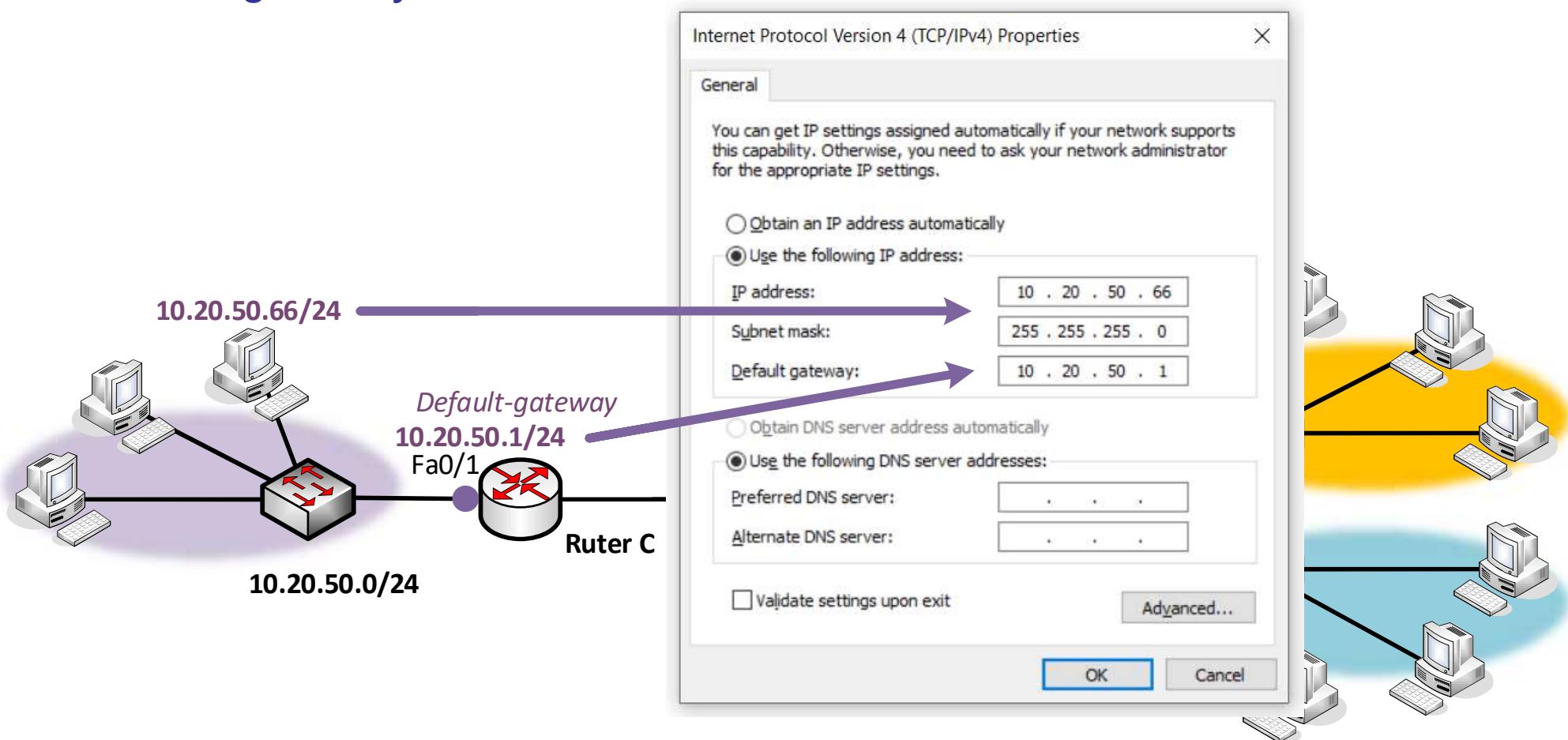
# *Default gateway*

- IP komunikacija
  - Unutar iste IP mreže – obavlja se direktno
  - Između različitih IP mreža – preko rutera
- ***Default gateway***
  - Predefinisani izlaz iz IP mreže
  - Port rутera koji pripada podmreži za koju predstavlja predefinisani izlaz
  - IP adresa i maska iz IP mreže



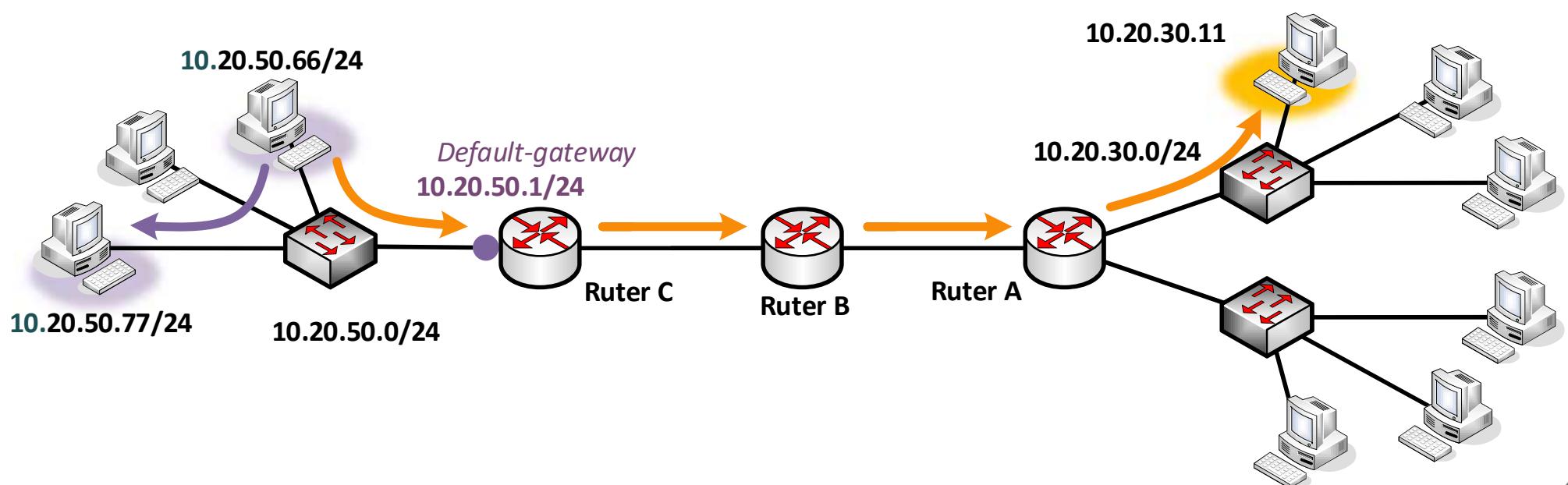
# *Default gateway*

- Hostovi na IP nivou imaju definisano:
  - IP adresu
  - Masku
  - *Default gateway*



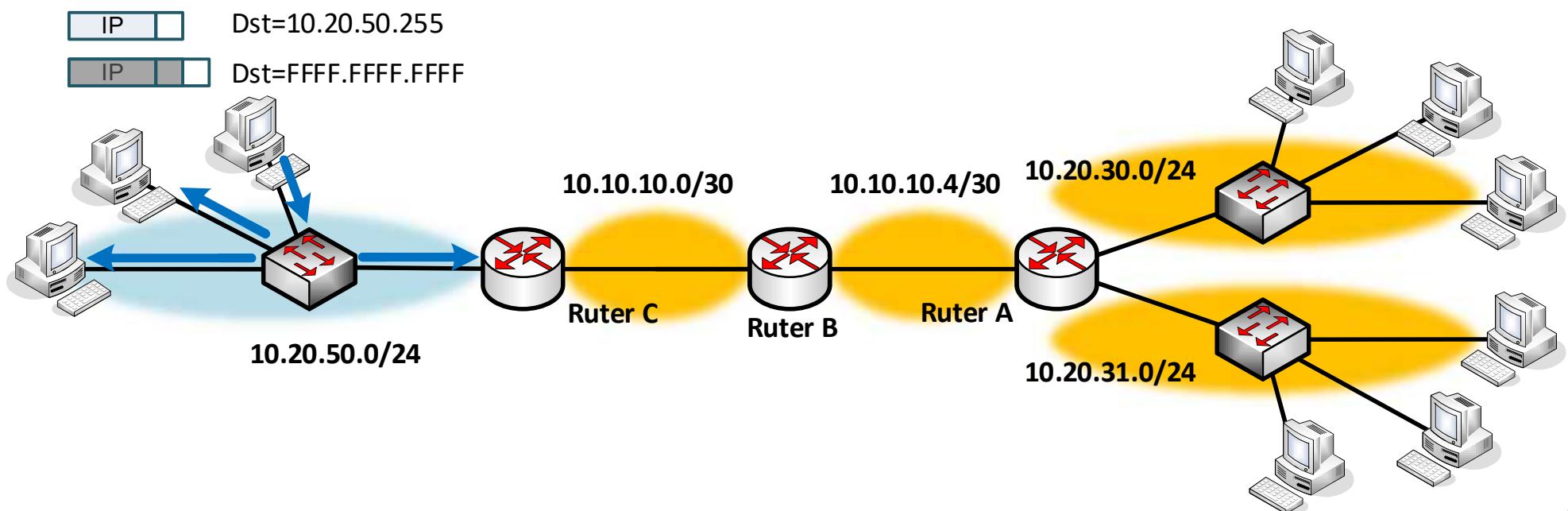
# *Default gateway*

- Uređaj koji šalje paket zna
  - Odredišnu IP adresu, ali ne i masku
  - Da li je odredište u istoj mreži (poređenjem sa svojom IP adresom i maskom)
- 1 slučaj - izvorišna i odredišna adresa su u istoj mreži:
  - Paket se direktno šalje odredišnom uređaju ( $10.20.50.66/24 \Rightarrow 10.20.50.77$ )
- 2 slučaj - izvorišna i odredišna adrese su u različitim mrežama
  - Paket se šalje na izlazni ruter (*default gateway*) da se pobrine za njega ( $10.20.50.66/24 \Rightarrow 10.20.30.11$ )



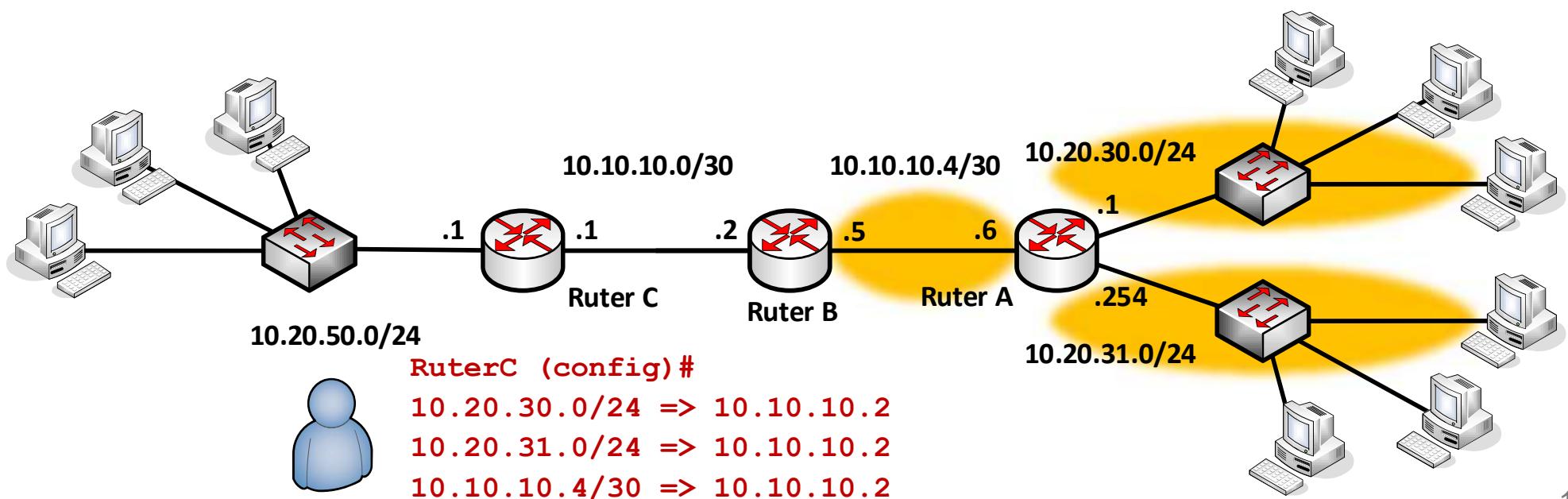
# Brodkast domeni

- Brodkast IP paket
  - Odredišna adresa ima sve jedinice u host delu (npr. 10.20.50.255 u mreži 10.20.50.0/24)
- Brodkast L2 paket
  - Odredišna adresa ima sve jedinice - FFFF.FFFF.FFFF
  - Enkapsulira brodkast IP paket
- Brodkast domen – jedan L2 segment mapiran u IP mrežu



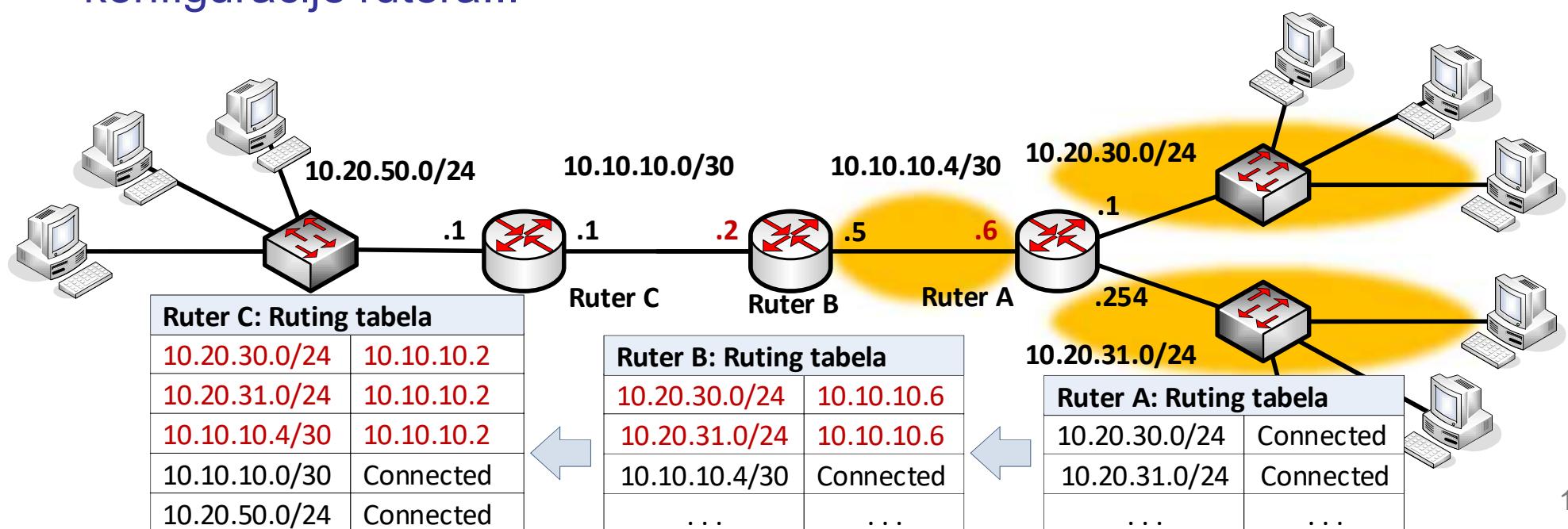
# Statičke rute

- Statičke rute (*Static Routes*)
  - Manuelno konfigurisanje ruta za određene mreže
  - “Koristi *next-hop* 10.10.10.2 za mrežu 10.20.30.0/24”
- Osobine:
  - Prednosti: jednostavno, ne zahteva dodatne resurse, pregledno
  - Nedostaci – promene u mreži zahtevaju manuelnu rekonfiguraciju na većem broju uređaja, neskalabilno za veće mreže



# Dinamičke rute

- Ruteri samostalno razmenjuju informacije o mrežama
  - Koriste se protokoli rutiranja
  - Ruteri znaju za direktno povezane mreže na osnovu IP adresa i maski konfigurisanim na svojim interfejsima
- Osobine:
  - Skalabilnost i fleksibilnost – prilagođavaju se promenama u mreži
  - Zahteva se pažljivi dizajn mreže i adresnog prostora, usaglašene konfiguracije rutora...

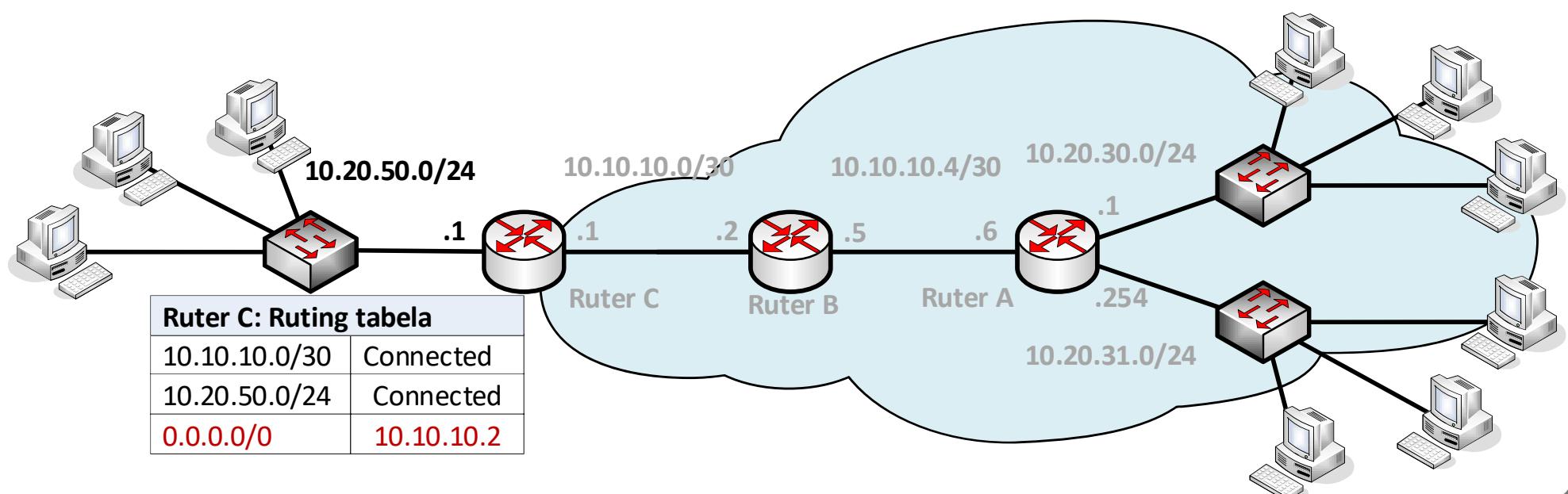


# Statičko vs. dinamičko rutiranje

- Statičko rutiranje
  - Ručna konfiguracija
    - Definiše se na svakom ruteru za svaku IP mrežu
  - Neskalabilno
    - Dodavanje samo jedne mreže izaziva promenu konfiguracije na svim ruterima
  - Neadaptivno
    - U slučaju prekida nekih veza, neće se pronaći alternativni put do odredišta
  - Korisno u pojedinim specifičnim slučajevima
    - Privremeno testiranje, pojedinačne mreže itd.
- Dinamičko rutiranje
  - Skalabilno
    - Dodavanje nove mreže svi ruteri će automatski da prepoznaju
  - Adaptivno
    - Prilagođava se promeni topologije – prekid veza ili dodavanje novih veza
  - Primjenjuje se u svim iole većim mrežama

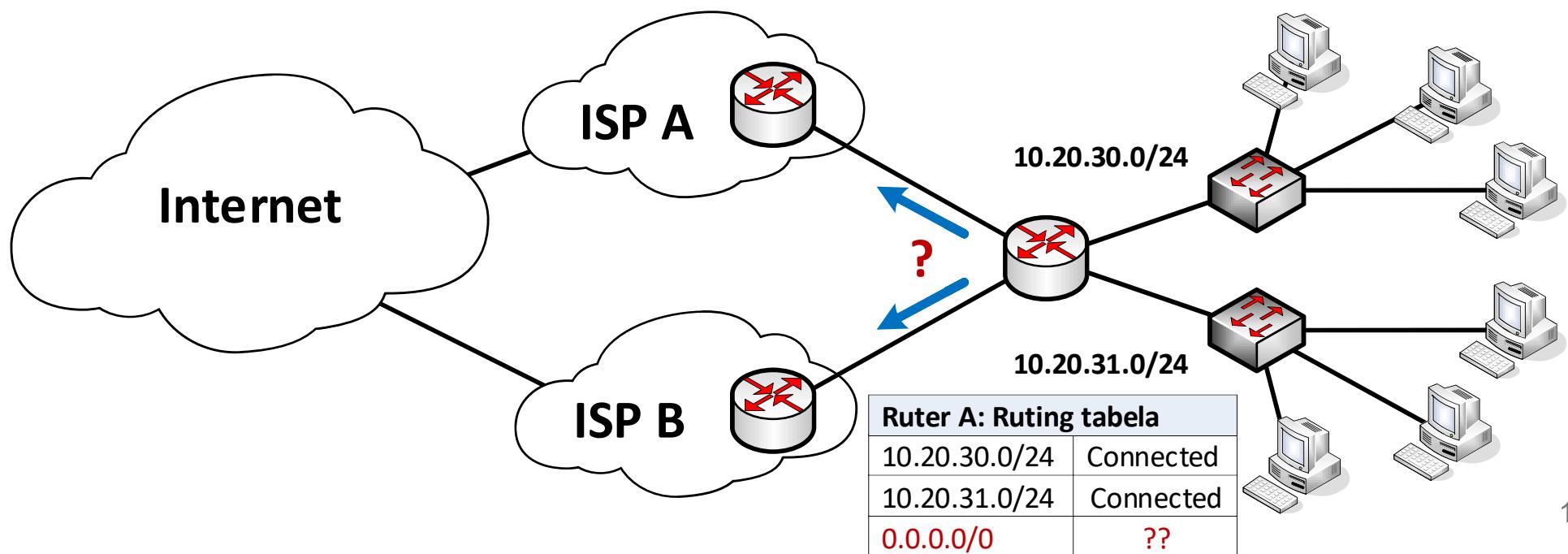
# *Default ruta – 0.0.0.0*

- Difoltna ruta (*default route*)
  - Predefinisana ruta za sve mreže za koje ne postoje pojedinačne rute
  - Oznaka: „0.0.0.0”, odnosno sadrži masku „/0“ koja obuhvata sve mreže
- Ako postoji samo jedna veza do ostatka mreže, ruting tabela može da sadrži:
  - Manji broj ruta samo do određenih „unutrašnjih“ mreža
  - Difoltnu rutu za sve ostale mreže, uključujući i ceo Internet



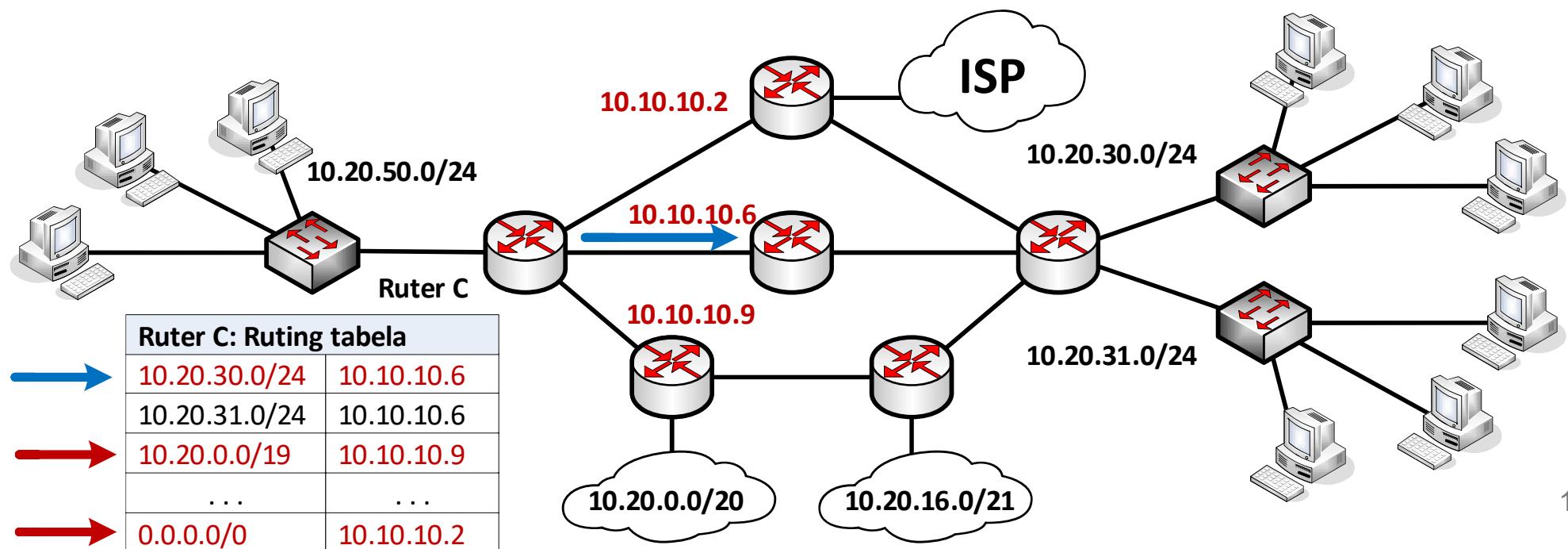
# *Default ruta – 0.0.0.0*

- Potpuna ruting tabela – sve mreže na Internetu (agregirano)
  - Preko 950.000 ruta
- Osobine:
  - Manje ruting tabele, pojednostavljeno rutiranje
  - Neoptimalno kada postoji više veza
    - Difoltna ruta odvodi saobraćaj samo na jednu vezu, dok se druga ne koristi
- Ako ruting tabela nema rutu prema određenoj mreži, a nema ni *default* rutu, paketi za tu mrežu se odbacuju



# Najspecifičnija ruta

- Za odredišnu IP adresu iz zaglavlja se u ruting tabeli traži pripadajuća mreža
- Ako u ruting tabeli postoji više mreža kojima pripada odredište (npr. agregirane mreže, podmreže, difoltna ruta itd):
  - Koristi se pravilo najspecifičnije rute (“more specific”, “longest match”) – **Bira se najmanja mreža, ona sa najdužim prefiksom (maskom)**



# Šta je next-hop za odredišnu adresu 10.20.32.70?

Ruting tabela	
10.20.32.0/27	10.10.10.1
10.20.32.0/26	10.10.10.2
10.20.32.0/25	10.10.10.3
10.20.32.0/24	10.10.10.4
10.20.32.0/23	10.10.10.5
10.20.32.0/22	10.10.10.6
0.0.0.0/0	10.10.10.7

10.10.10.1

10.10.10.2

10.10.10.3

10.10.10.4

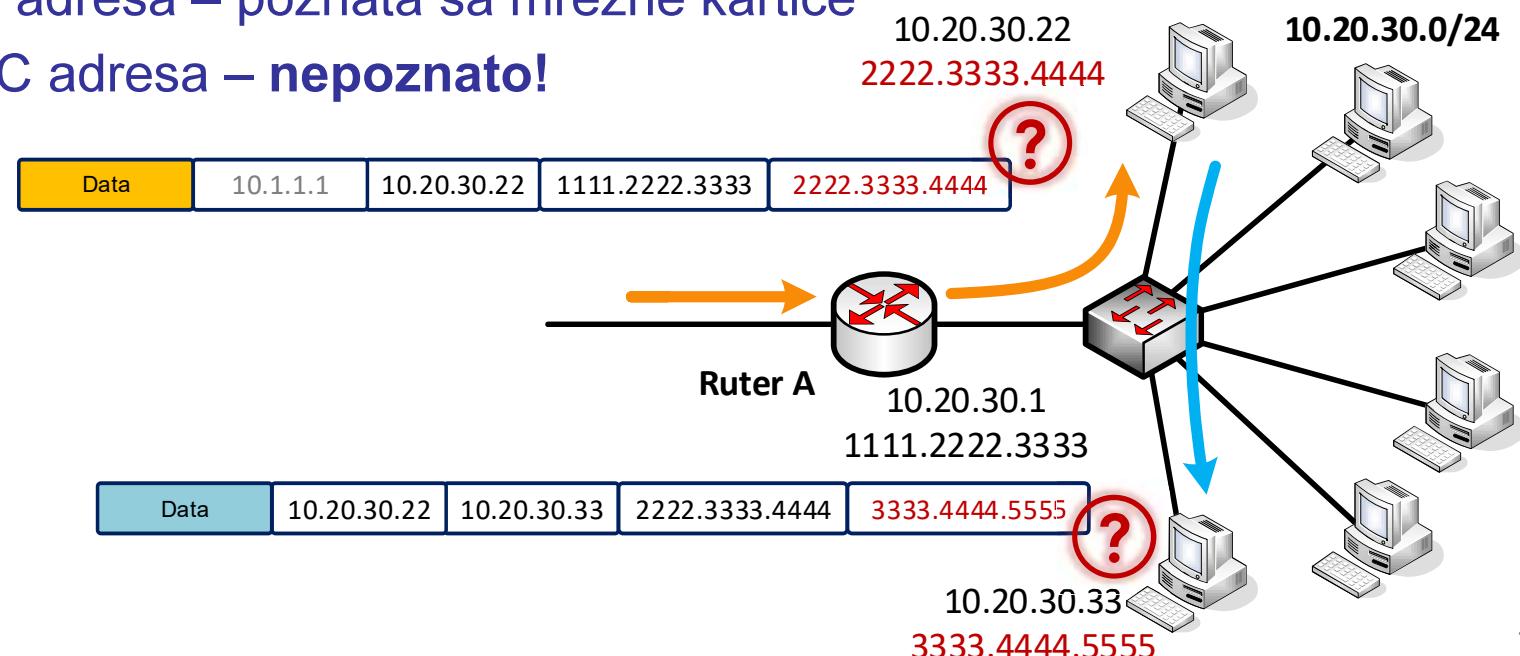
10.10.10.5

10.10.10.6

10.10.10.7

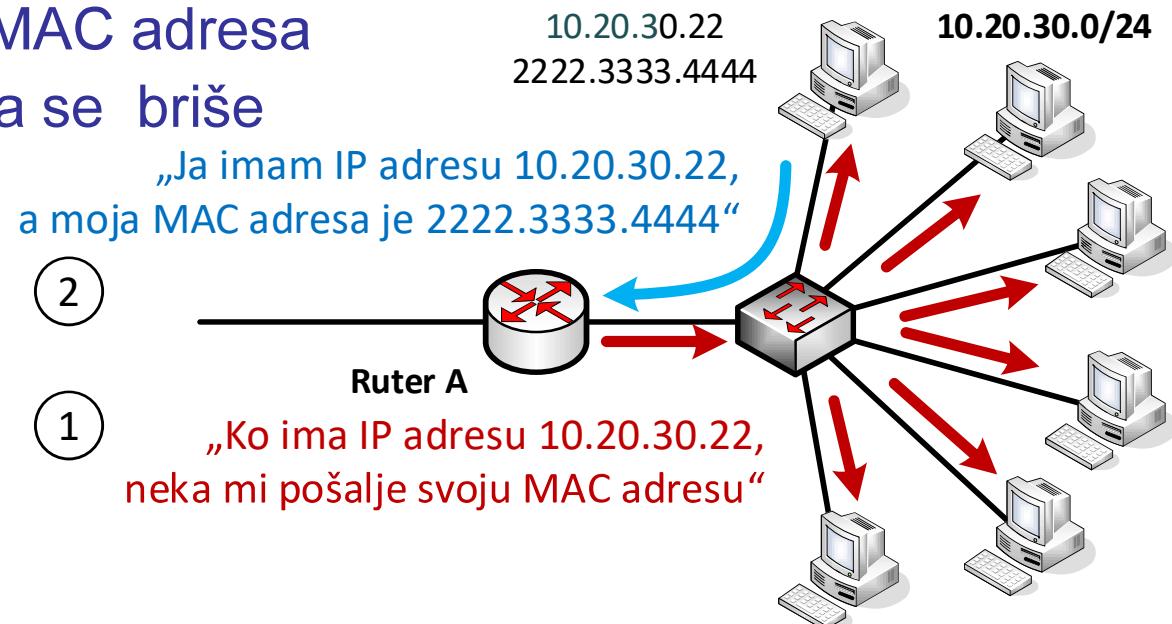
# ARP – Address Resolution Protocol

- Komunikacija u LAN mrežama (uključujući i ruter)
  - Na L3 nivou - preko IP protokola: src IP => dst IP
  - IP paketi se enkapsuliraju u Ethernet okvire na L2 nivou
  - Na L2 nivou – preko Ethernet protokola: src MAC => dst MAC
- Potrebne adrese za IP i Ethernet zaglavlja
  - Izvorišna IP adresa – poznata iz lokalne konfiguracije
  - Odredišna IP adresa – poznata preko aplikacije koja zahteva komunikaciju
  - Izvorišna MAC adresa – poznata sa mrežne kartice
  - Odredišna MAC adresa – **nepoznato!**



# ARP protokol

- ARP – *Address Resolution Protocol*
  - Automatsko pronalaženje MAC adrese na osnovu IP adrese
- ARP sprovode svi IP uređaji na LAN mreži, u dva koraka
  1. **ARP Request**
    - „Hej društvo, ko ima ovu IP adresu, neka mi pošalje svoju MAC adresu“
  2. **ARP Reply**
    - „To je moja IP adresa, evo ti i moja MAC adresa“
- **ARP tabela** – keš koji privremeno čuva otkrivene MAC adrese
  - Sadrži parove IP adresa i MAC adresa
  - Vreme trajanja, nakon čega se briše red u tabeli (IP-MAC)



# ARP protokol

- ARP paketi se prenose u Ethernet okvirima
  - Protokol 3. nivoa sa identifikacijom 806<sub>hex</sub>

## 1. *ARP request* paket

- Šalje se **na brodkast MAC adresu** (FFFF.FFFF.FFFF)
- Paket sadrži:
  - IP i MAC adresu pošiljaoca
  - IP adresu uređaji za koji se traži MAC adresa
- Svi primaju ovaj okvir, ali odgovara samo uređaj sa naznačenom IP adresom
- Ako niko ne odgovori, ARP javlja grešku IP nivou – L2 sloj ne može da pošalje IP poruku

## 2. *ARP Reply* paket

- Šalje se **na unikast MAC adresu** uređaja koji je poslao *ARP Request*
  - MAC adresa se prepoznaće iz tela ARP paketa, a ne iz zaglavlja Ethernet okvira
- Uređaj koji primi *ARP Reply* paket, ažurira svoju ARP tabelu (keš)

# ARP protokol

- Format ARP paketa
- **ARP Request**
  - *Sender HA (Hardware Address)* – MAC adresa pošiljaoca
  - *Target HA* – MAC adresa koja se traži (prazno za ARP Request)
- **ARP Reply**
  - *Target IP i Target HA* – adrese kome se šalje paket
  - *Sender IP i Sender HA* – adrese pošiljaoca – MAC adresa koja se tražila

1. bajt	2. bajt	3. bajt	4. bajt
Hardware Type		Protocol Type (0x0800)	
HLEN	PLEN	Operation	
Sender HA (1..4)			
Sender HA (5..6)		Sender IP (1..2)	
Sender IP (3..4)		Target HA (0..1)	
Target HA (3..6)			
Target IP (1..4)			

# ARP protokol

- ARP automatski sprovode svi IP uređaji na LAN mreži (hostovi, ruteri, štampači...)
- ARP tabele se mogu izlistati ili obrisati:
  - *Windows:*
    - „arp -a“
  - Ruteri
    - „show arp“
    - „clear arp“

```
C:\>arp -a
Interface: 147.91.4.8 --- 0x60003
      Internet Address          Physical Address      Type
        147.91.4.1                00-1b-90-41-78-00  dynamic
        147.91.4.48               00-e0-18-3e-09-c9  dynamic
        147.91.4.50               00-0b-cd-38-79-cb  dynamic
        147.91.4.58               00-60-b0-ef-90-ba  dynamic
```

```
cisco:> show arp

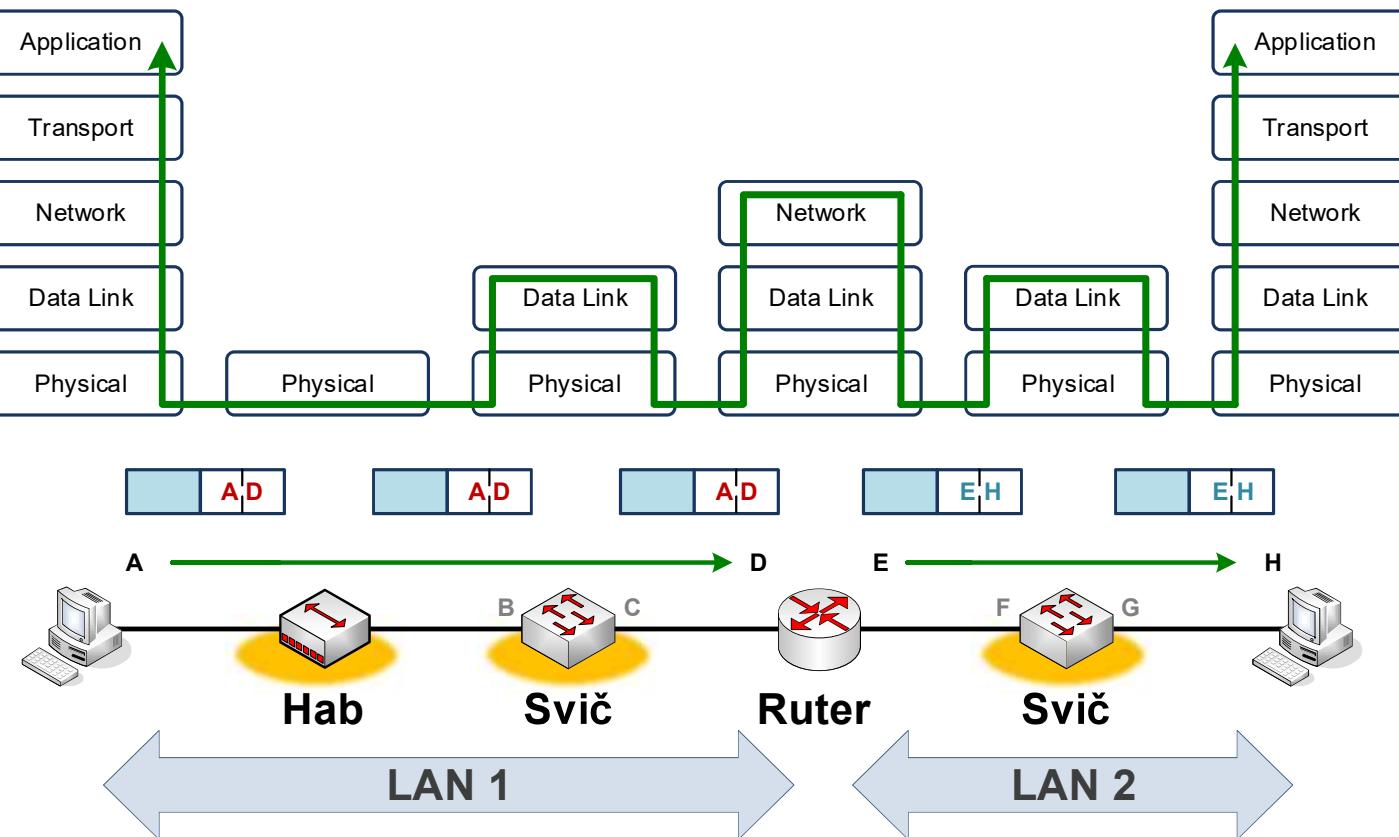
Protocol    Address          Age (min)    Hardware Addr   Type    Interface
Internet    147.91.108.160    0            000c.4212.23c9  ARPA   FastEthernet3/41
Internet    147.91.108.180    20           0017.a4d5.9b88  ARPA   FastEthernet3/41
Internet    147.91.108.181    3             0019.e010.a2c3  ARPA   FastEthernet3/41
Internet    147.91.108.177    10            0004.7612.e85b  ARPA   FastEthernet3/41
```

- Zastarevanja ARP ulaza
  - Windows: inicijalno 2 min, ako se tokom tog period koristi, vreme se povećava na 10 min.
  - Cisco – 4h
  - Juniper – 20 min

# Rutiranje

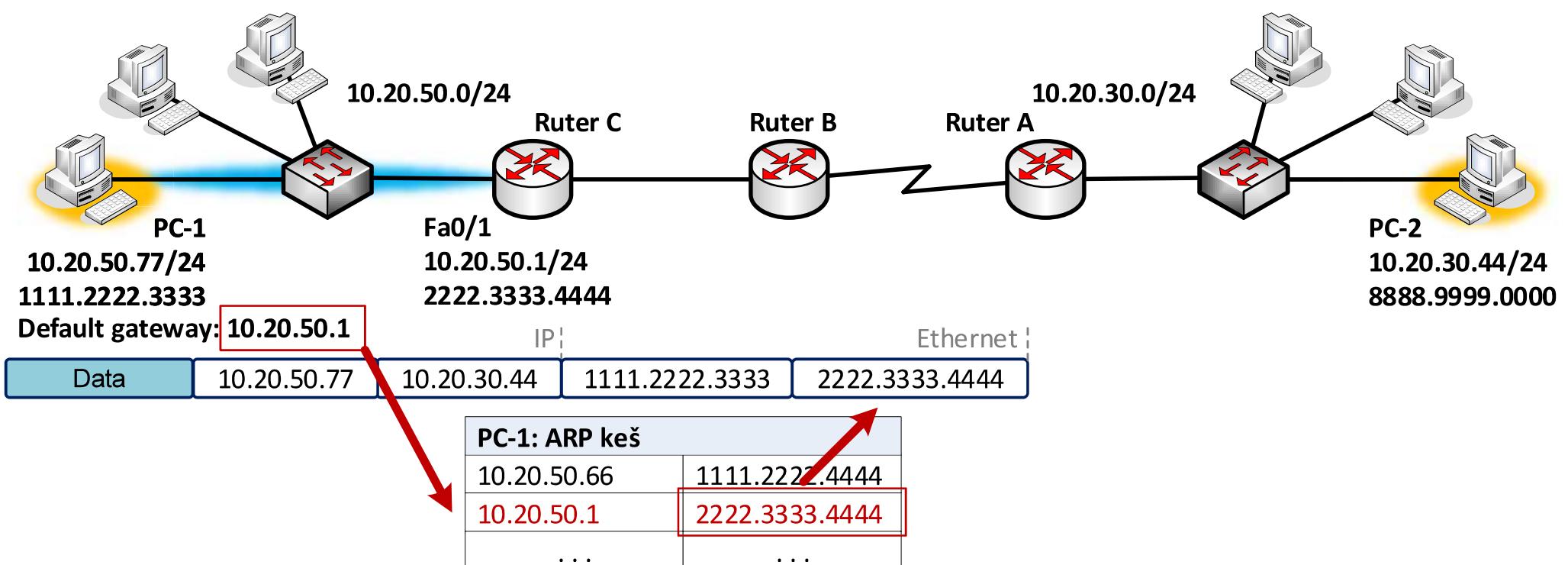
- **Ruteri – Layer 3 uređaji**

- Povezuju LAN mreže (predstavljaju granicu LAN mreža)
- Portovi rutora imaju MAC adrese - koriste se u zaglavlju L2 okvira
- Prilikom rutiranja paketu u rutur:
  - **Ne menjaju se IP adrese** (src i dst) – IP paket je (skoro) neizmenjen
  - **Menjaju se MAC adrese** (src i dst) – iz rutora izlazi novi L2 okvir



# Primer rutiranja

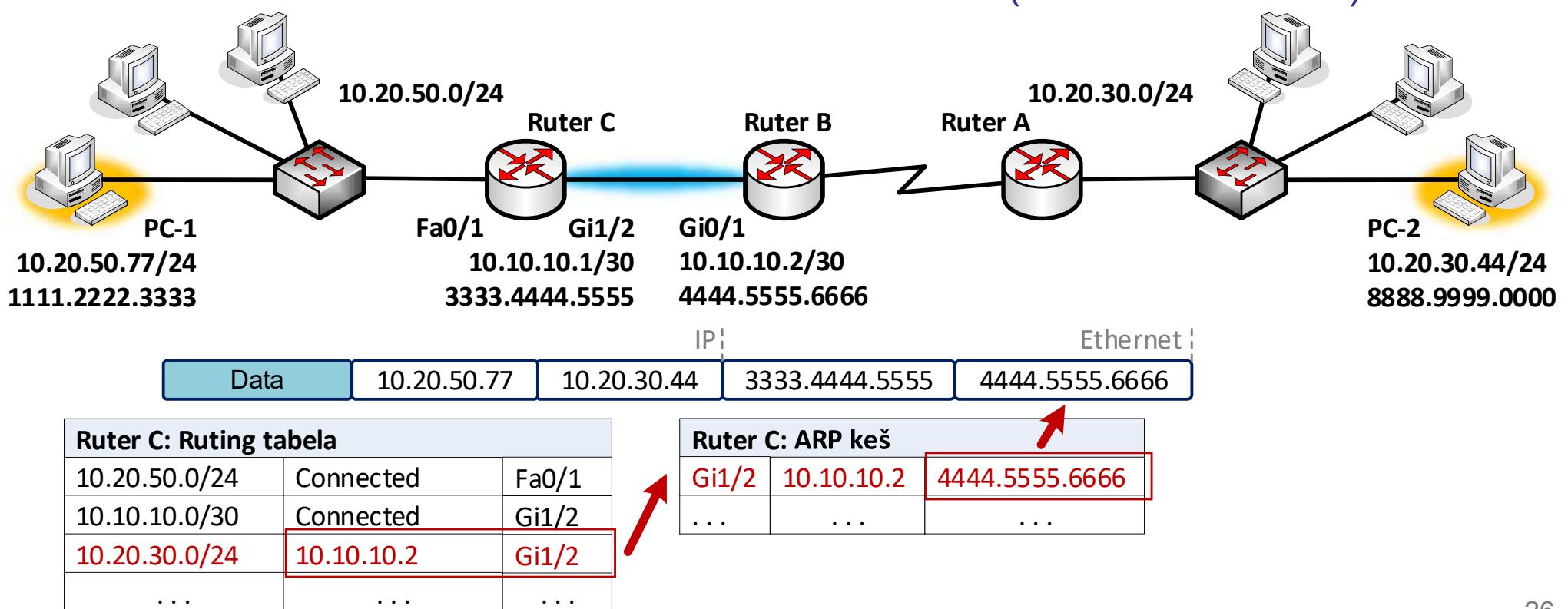
- PC-1 šalje IP paket za PC-2: 10.20.50.77 => 10.20.30.44
  - PC-1 prosleđuje paket na *default gateway* (10.20.50.1)
  - Gleda se ARP keš za adresu 10.20.50.1
  - Nađena MAC adresa se koristi kao odredište u Ethernet okviru (2222.3333.4444)



# Primer rutiranja

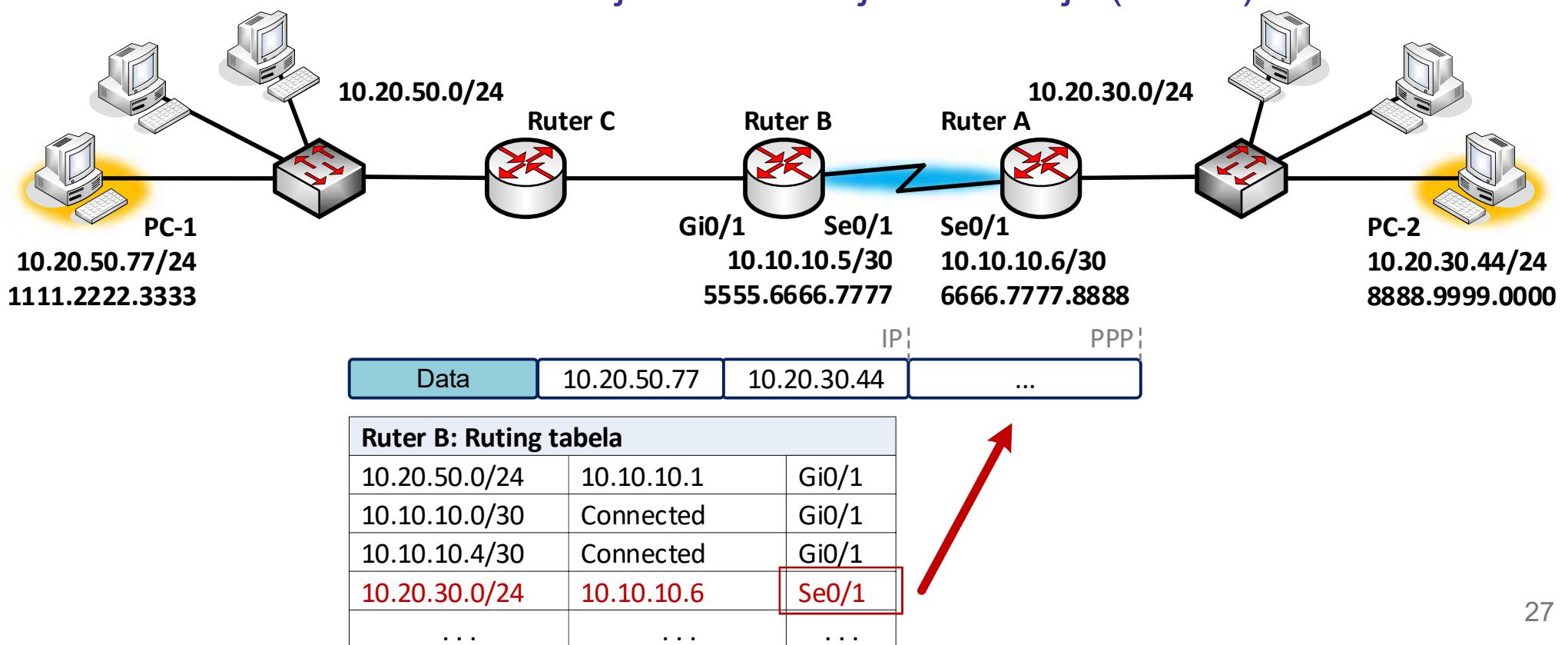
- Ruter C

- Preuzima Ethernet okvir i gleda odredišnu IP adresu
- U ruting tabeli se nalazi uparena mreža ( $10.20.30.0/24$ ) i *next-hop* ( $10.10.10.2$ )
- Za *next-hop* se traži ulaz u ARP kešu
- Nađena MAC adresa se koristi kao odredište ( $4444.5555.6666$ )



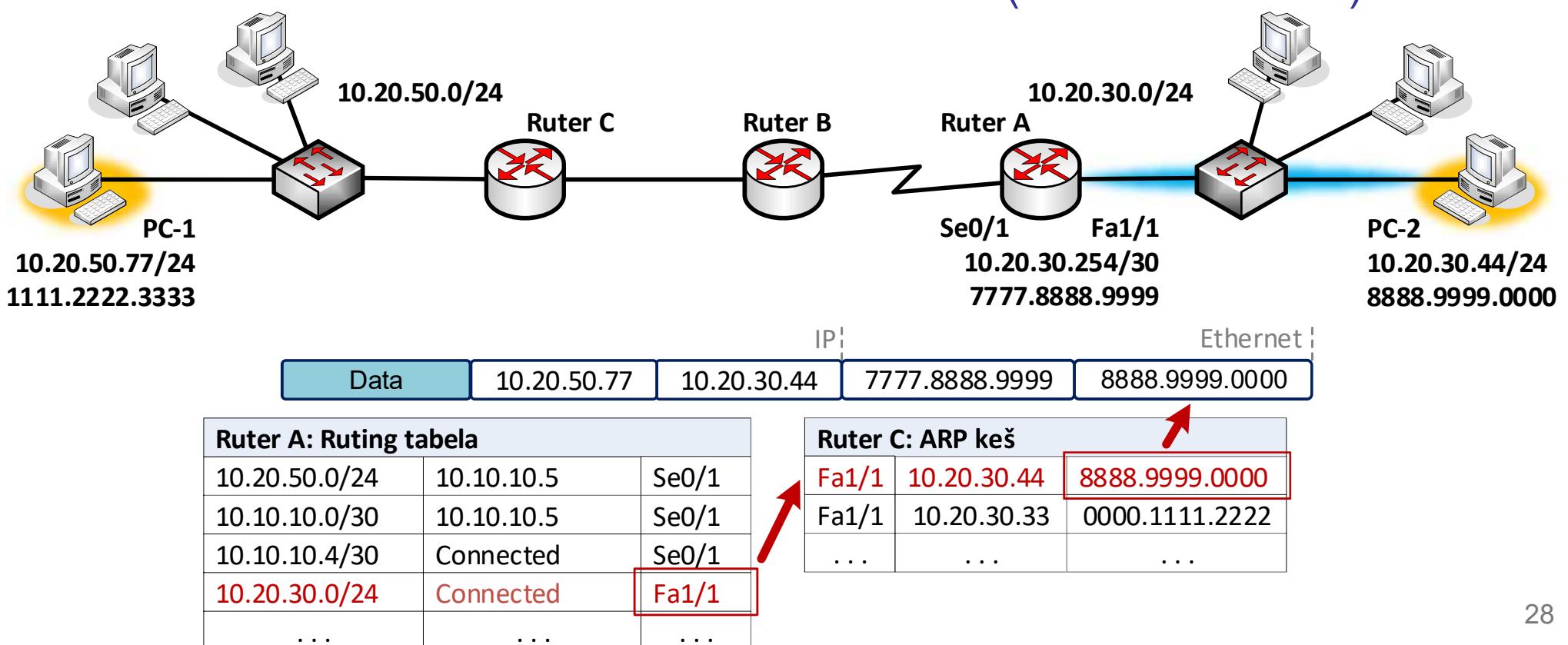
# Primer rutiranja

- Ruter B
  - Preuzima Ethernet okvir i gleda odredišnu IP adresu
  - U ruting tabeli se nalazi uparena mreža ( $10.20.30.0/24$ ) i *next-hop* ( $10.10.10.6$ )
  - *Next-hop* je na serijskom interfejsu sa PPP protokolom
  - Formira se PPP okvir i šalje se na serijski interfejs (Se0/1)



# Primer rutiranja

- Ruter A
  - Preuzima PPP okvir i gleda odredišnu IP adresu
  - U ruting tabeli se nalazi uparena mreža (10.20.30.0/24) koja je direktno povezana na ruter
  - Za odredišnu adresu (10.20.30.44) se traži ulaz u ARP kešu
  - Nađena MAC adresa se koristi kao odredište (8888.9999.0000)



# ICMP - *Internet Control Message Protocol*

- Za slanje kontrolnih poruka o radu IP mreže
- Enkapsulira se u IP poruku
  - Ne smatra protokolom transportnog nivoa, jer ne služi za transport aplikativnih podataka
- Dve osnovne grupe
  - *Error message* – poruke o greškama
  - *Query message* – poruke uputa (*Request*) i odgovora na upite (*Reply*)
- Vrste ICMP poruka
  - *Destination Unreachable*
  - *Time Exceeded*
  - *Redirect*
  - *Echo Request, Echo Reply*

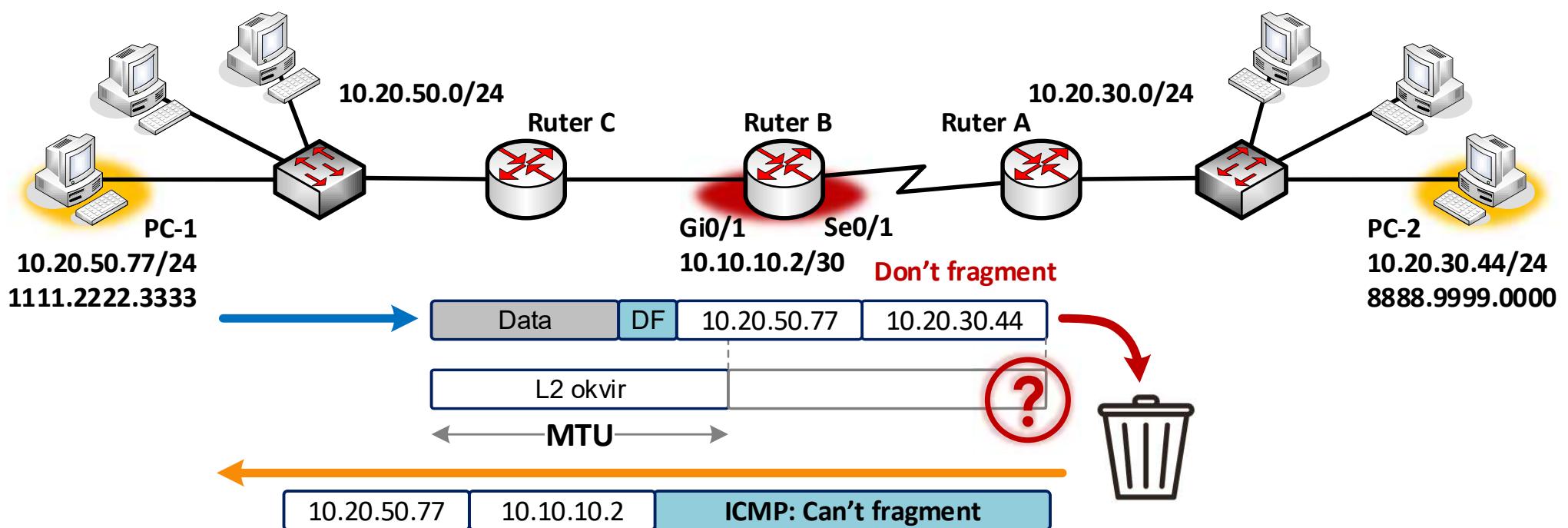
# **ICMP - Destination Unreachable**

- Poruke o grešci – ICMP *Error Message*
- Kada paket ne može da se dalje prenese:
  - Paket se odbacuje
  - Obaveštava se izvorišni uređaj da je paket odbačen  
**ICMP Destination Unreachable**
    - Sadrži prvih 100 bajtova originalnog paketa, da bi izvorišni uređaj prepoznao koji je paket odbačen
- Vrste ICMP *Destination Unreachable* poruka
  1. *Can't fragment*
  2. *Network Unreachable*
  3. *Host unreachable*
  4. *Protocol unreachable*
  5. *Port unreachable*

# ICMP Destination Unreachable

- **ICMP Can't fragment**

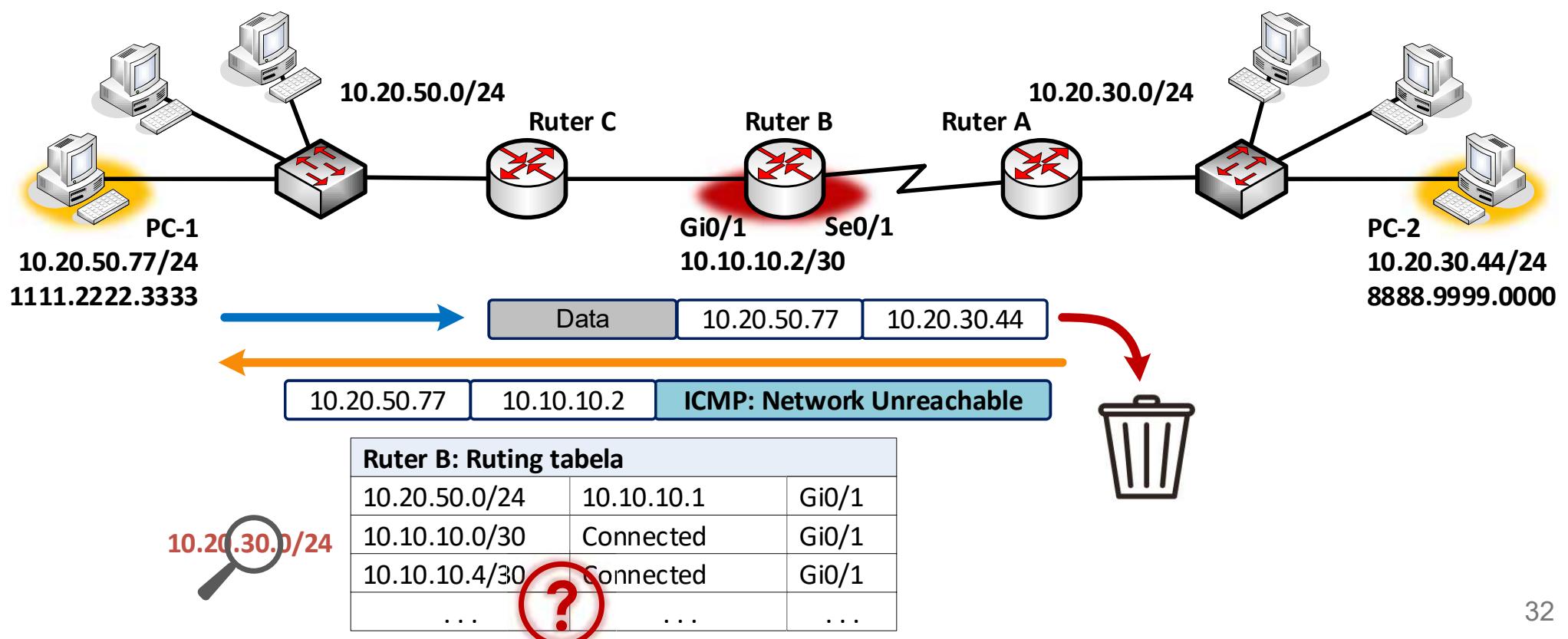
- IP paket je veći od MTU vrednosti u narednom L2 segmentu, a setovan je „Don't fragment“ flag
- Paket se odbacuje, jer ne može da se fragmentira
- **Ruter** obaveštava izvorišni uređaj da je paket uništen



# ICMP Destination Unreachable

- **ICMP Network Unreachable**

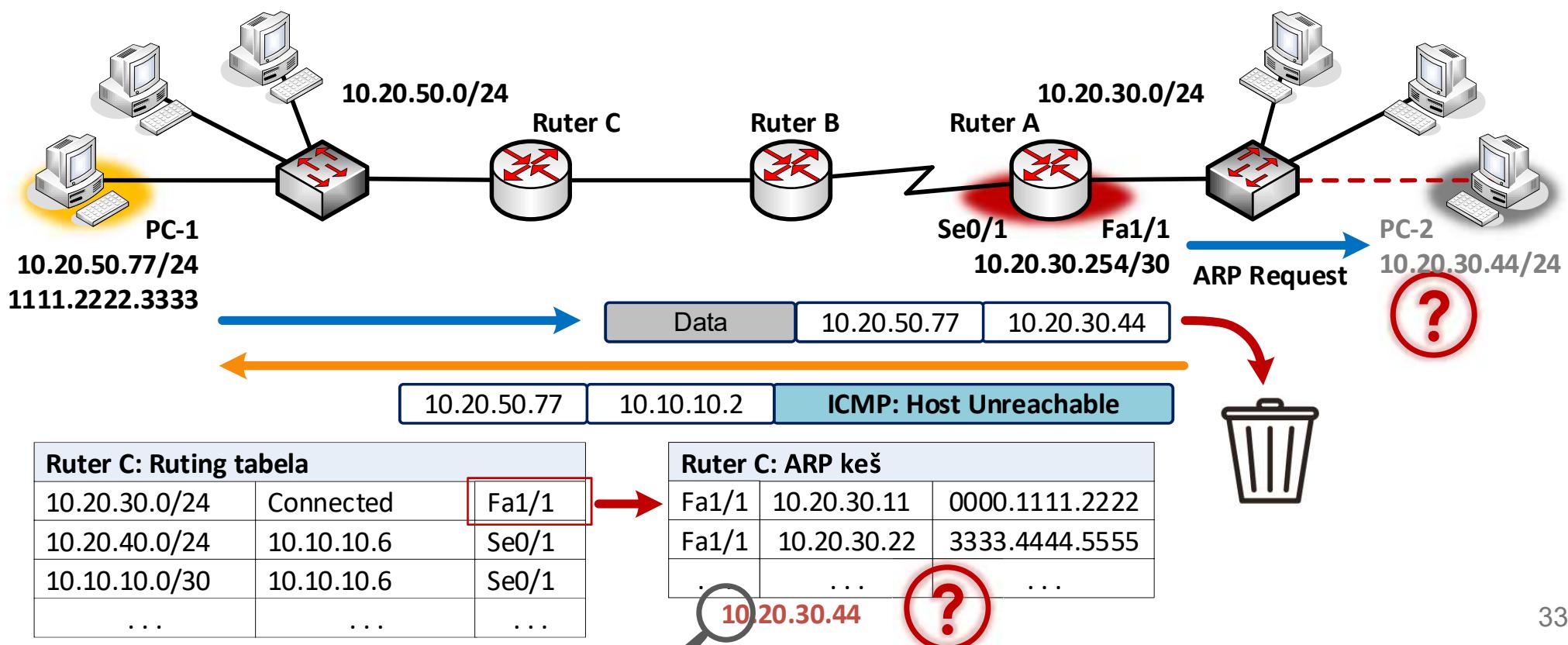
- U ruting tabeli rutera ne postoji mreža kojoj odgovara odredišna adresa
- Paket se odbacuje, jer ne može da se rutira
- **Ruter** obaveštava izvorišni uređaj da je paket uništen



# ICMP Destination Unreachable

- **ICMP Host Unreachable**

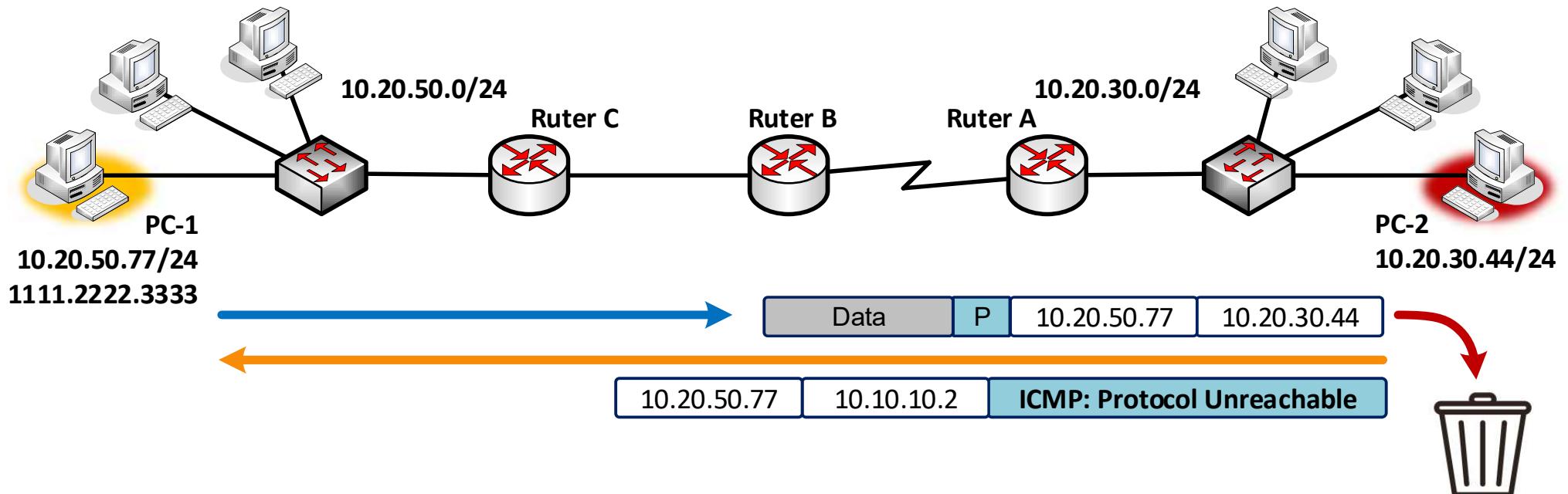
- IP poruka treba da se prosledi na direktno povezani mrežu
- IP adresa odredišta se ne nalazi u ARP kešu
- Šalje se ARP Request poruka, ali se niko ne odaziva (uređaj nedostupan)
- Paket se odbacuje, o čemu **ruter** obaveštava izvorišni uređaj



# ICMP Destination Unreachable

## • ICMP Protocol Unreachable

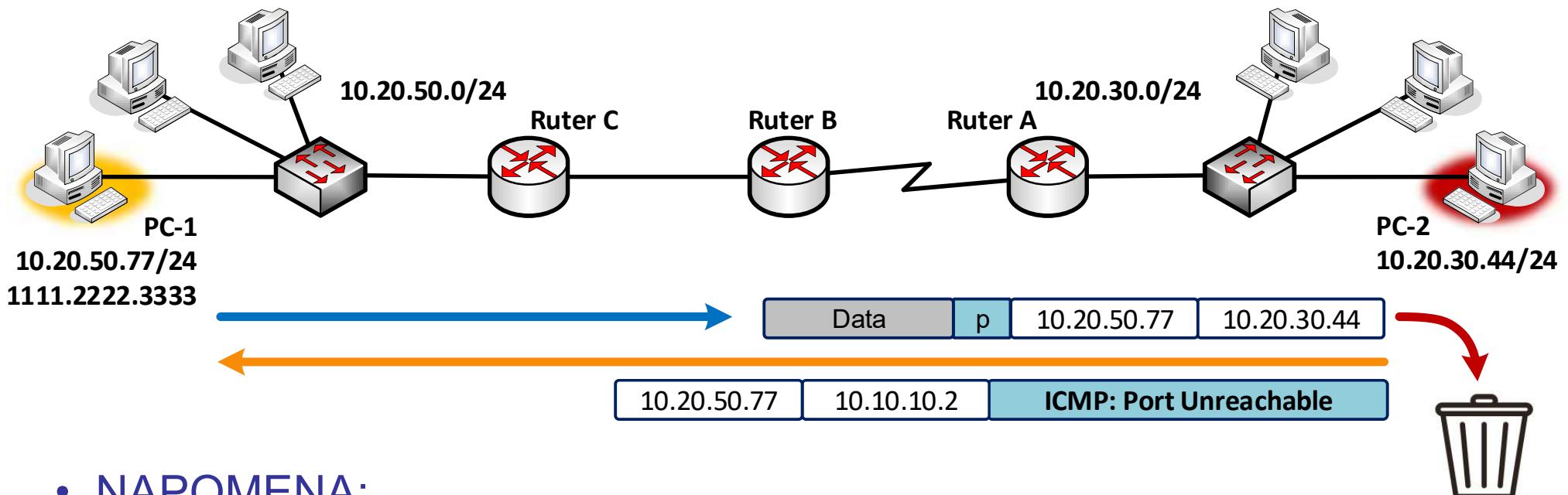
- Paket je stigao do IP nivoa odredišnog uređaja
- Ne postoji protokol na 4. nivou koji je naznačen u zaglavju IP paketa
- Paket se odbacuje, o čemu **odredišni uređaj** obaveštava izvorišni uređaj



# ICMP Destination Unreachable

## • ICMP Port Unreachable

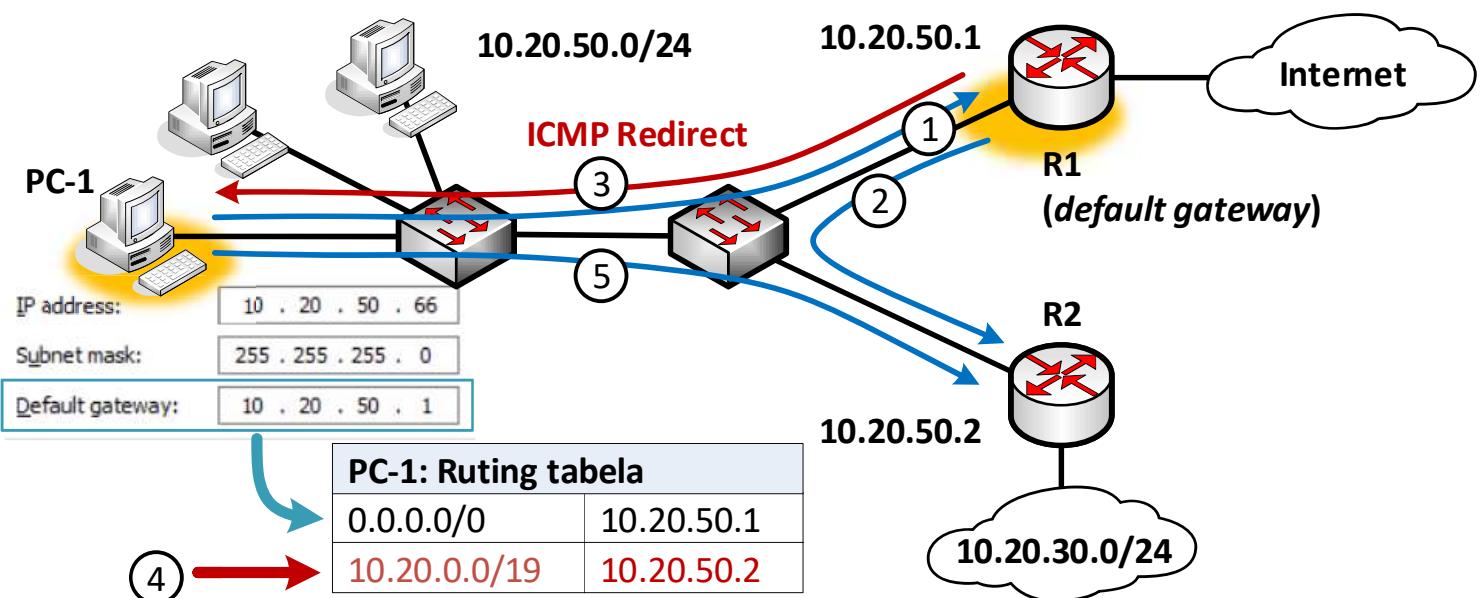
- Paket je stigao do 4. nivoa odredišnog uređaja
- Ne postoji aplikacija („otvoren port“) koja je naznačena u zaglavju poruke 4. nivoa
- Paket se odbacuje, o čemu **odredišni uređaj** obaveštava izvořišni uređaj



- NAPOMENA:
  - Port – broj od dva bajta koji identificiše aplikaciju na uređaju

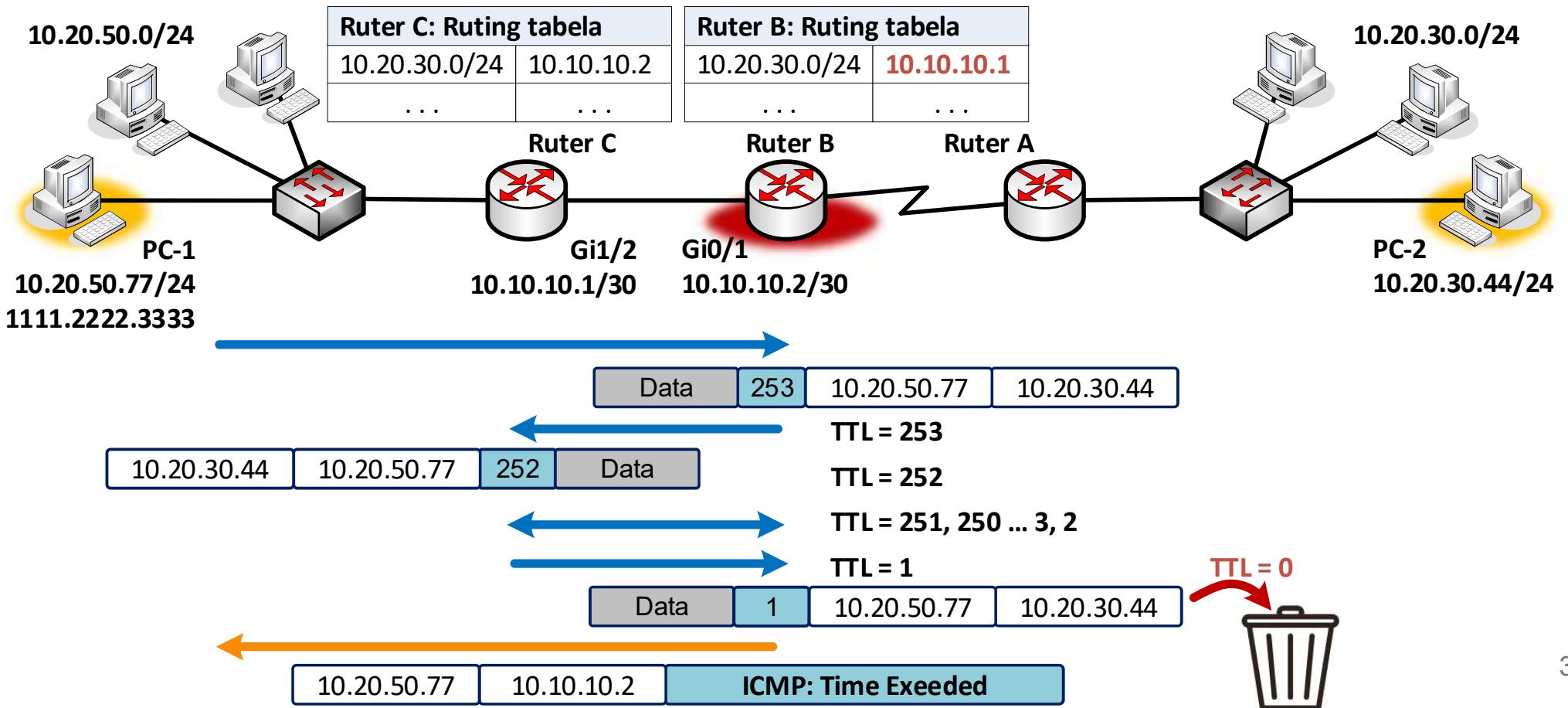
# ICMP Redirect

- Kada je više ratera povezano na LAN mrežu
- *Default gateway* obaveštava uređaj da za odredište postoji bolja specifičnija ruta
  1. PC-1 šalje paket na *default gateway* za mrežu 10.20.30.0/24
  2. *Default gateway* prosleđuje paket do drugog ratera na istoj LAN mreži
  3. *Default gateway* obaveštava PC-1 da za odredište postoji bolja ruta
  4. Nova specifičnija ruta se upisuje u ruting tabelu računara PC-1
  5. PC-1, koristeći novu rutu, naredne pakete šalje direktno na ruter R2



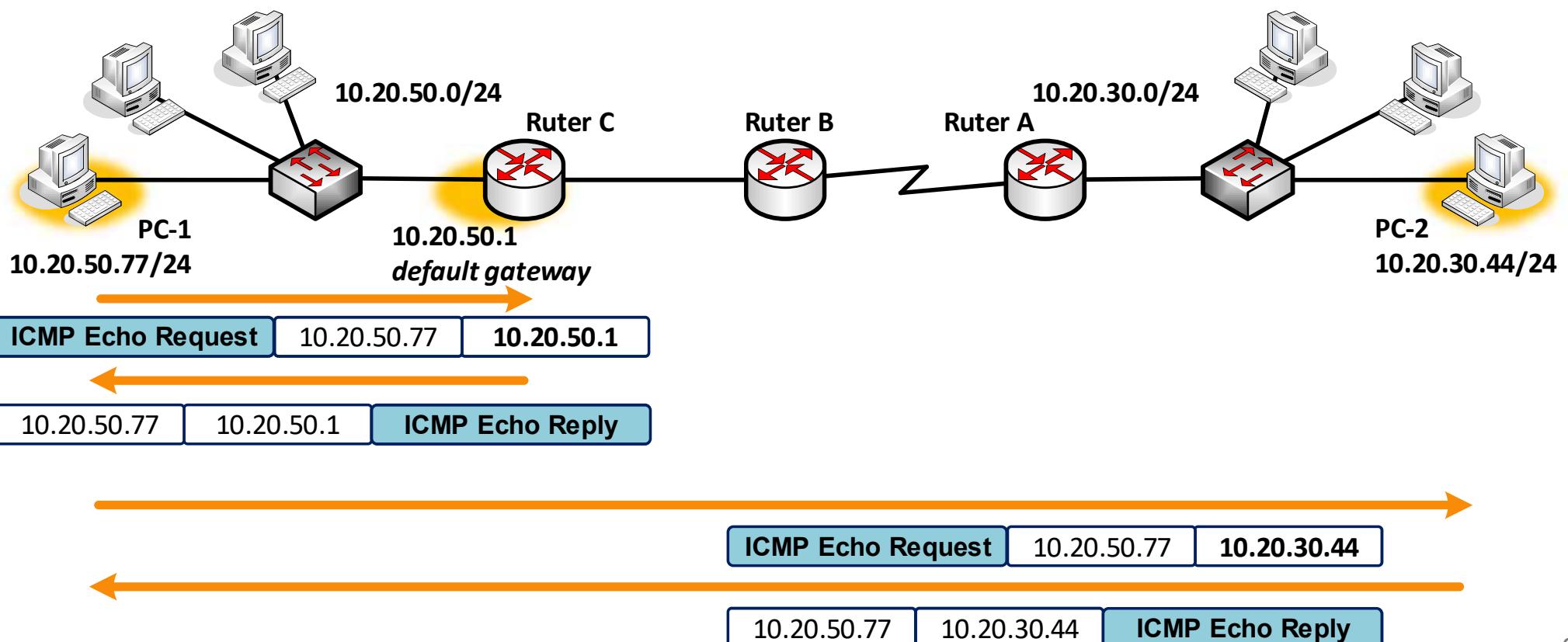
# ICMP Time Exceeded

- IP paketi se šalju sa postavljenim poljem TTL (*Time-To-Live*), npr. 255
- Svaki ruter pri rutiranju smanjuje TTL za 1
- Kada TTL dostigne nula, paket se odbacuje, o čemu **ruter** obaveštava izvorišni uređaj
- Obično se javlja kada postoji petlja u rutiranju (Ruter A  $\leftrightarrow$  Ruter B)



# ICMP Echo Request/Reply - ping

- Ping komanda - provera dostupnost na IP nivou (*reachability*)
  - Šalje se ICMP Echo Request na proizvoljnu IP adresu
  - Odgovara se sa ICMP Echo Reply porukom



# Komande za dijagnostiku - *ping*

- Ping komanda (Windows, Linux, ruteri)
  - Prikazuje se broj poslatih i primljenih paketa, procenat izgubljenih paketa, vreme između slanja i prijema paketa (RRT – *Round Trip Time*)
  - Provera dostupnosti i kvaliteta veze

```
amres-core-R>ping www.google.com
Translating "www.google.com"...domain server (147.91.1.5) [OK]
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 216.58.206.68, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 32/33/36 ms
amres-core-R>
```

```
C:\Windows\System32>ping www.google.com

Pinging www.google.com [216.58.214.196] with 32 bytes of data:
Reply from 216.58.214.196: bytes=32 time=39ms TTL=50

Ping statistics for 216.58.214.196:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 39ms, Maximum = 39ms, Average = 39ms

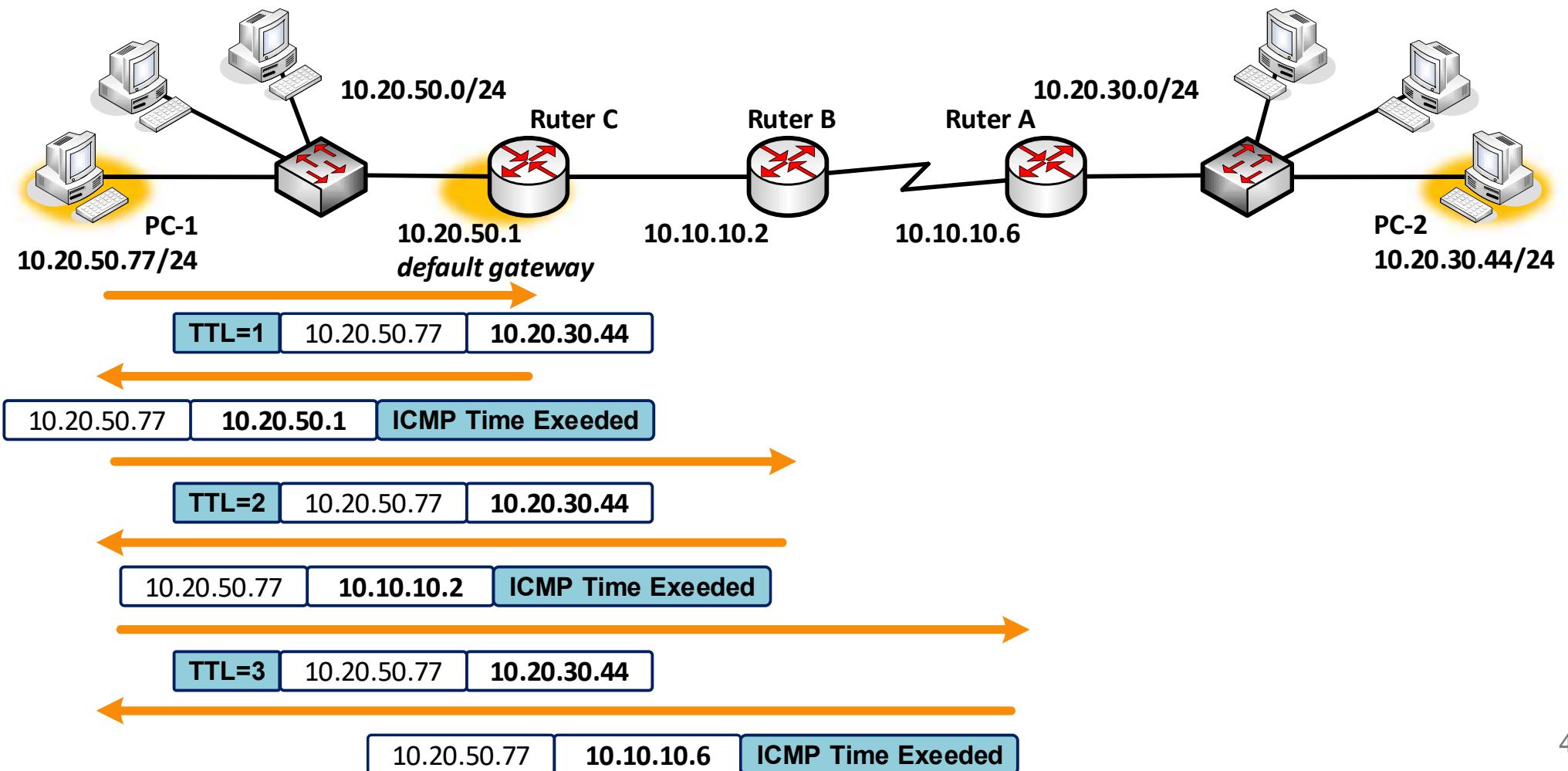
C:\Windows\System32>
```

```
Linux# ping -c 3 www.google.com
PING www.google.com (216.58.206.68) 56(84) bytes of data.
64 bytes from mil07s08-in-f4.1e100.net (216.58.206.68): icmp_seq=1 ttl=53 time=22.4 ms
64 bytes from mil07s08-in-f4.1e100.net (216.58.206.68): icmp_seq=2 ttl=53 time=22.5 ms
64 bytes from mil07s08-in-f4.1e100.net (216.58.206.68): icmp_seq=3 ttl=53 time=22.5 ms

--- www.google.com ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4006ms
rtt min/avg/max/mdev = 22.490/22.556/22.621/0.048 ms
```

# Komande za dijagnostiku - traceroute

- Traceroute – pronađi rutere na putu do odredišta
- Šalje paketa sa TTL=1, 2, 3, ...
- Ruteri na putu redom odgovaraju sa ICMP Time Exceeded



# Komande za dijagnostiku - *traceroute*

- Primer
  - Windows: **tracert**, Linux, Cisco: **traceroute**
  - Šalju se po 3 ICMP ili UDP poruke u svakom koraku
  - Prikazuje se RTT vreme za svaku poslatu poruku
- Ruteri ponekad zabranjuju ICMP *Echo* poruke
  - Ruter u tom koraku ostaje neotkriven

```
C:\Windows\System32>tracert www.google.com

Tracing route to www.google.com [216.58.214.196]
over a maximum of 30 hops:

 1  <1 ms    <1 ms    <1 ms  wlan10-gw.rcub.bg.ac.rs [147.91.4.1]
 2  <1 ms    <1 ms    <1 ms  amres-j-r.amres.ac.rs [147.91.6.129]
 3  <1 ms    <1 ms    <1 ms  amres-mpls-core---amres-ip-core-amres-ip.amres.ac.rs [147.91.5.144]
 4  <1 ms    <1 ms    <1 ms  amres-ip-core---amres-mpls-core-amres-ip.amres.ac.rs [147.91.5.145]
 5    7 ms    10 ms    7 ms   it2.it1.eumedconnect.net [83.97.88.5]
 6   21 ms    21 ms   21 ms   62.40.98.45
 7   21 ms    21 ms   21 ms  ae8.mx1.mil2.it.geant.net [62.40.98.188]
 8   22 ms    22 ms   28 ms   72.14.203.32
 9   21 ms    20 ms   21 ms  108.170.245.73
10   26 ms    26 ms   25 ms  72.14.233.132
11   43 ms    41 ms   41 ms  108.170.236.250
12   40 ms    40 ms   40 ms  74.125.242.225
13   41 ms    41 ms   41 ms  72.14.233.75
14   39 ms    39 ms   39 ms  bud02s23-in-f4.1e100.net [216.58.214.196]

Trace complete.
```

# Listanje sadržaja ruting tabela

- Cisco:

- **show ip route**

```
cisco>show ip route
Routing entry for 147.91.0.0/16, 304 known subnets
  Attached (5 connections)
    Variably subnetted with 12 masks

  O E1      212.200.228.92 [110/32] via 147.91.7.65, 00:00:35, Ethernet1/0
  O E2      212.62.33.0/24 [110/20] via 147.91.7.77, 00:00:35, Ethernet1/0
    147.91.0.0/16 is variably subnetted, 304 subnets, 12 masks
  O IA      147.91.200.0/22 [110/12] via 147.91.7.93, 18:49:41, Ethernet1/0
  O IA      147.91.132.64/28 [110/12] via 147.91.7.92, 18:49:41, Ethernet1/0
  .....
  O IA      147.91.4.192/28 [110/11] via 147.91.7.65, 18:49:41, Ethernet1/0
  C      147.91.7.64/26 is directly connected, Ethernet1/0
  O IA      147.91.217.128/25 [110/11] via 147.91.7.96, 18:49:43, Ethernet1/0
  O E2      147.91.221.128/25 [110/20] via 147.91.7.65, 02:39:31, Ethernet1/0
  O*E2  0.0.0.0/0 [110/1] via 147.91.7.65, 00:04:37, Ethernet1/0
  O      147.91.0.83/32 [110/11] via 147.91.7.117, 18:49:43, Ethernet1/0
  O IA      147.91.212.128/26 [110/12] via 147.91.7.65, 18:49:43, Ethernet1/0
```

- Windows:

- **route print**

```
C:\Documents and Settings>route print
Active Routes:
Network Destination          Netmask         Gateway        Interface Metric
          0.0.0.0          0.0.0.0   147.91.4.1    147.91.4.8    20
          127.0.0.0        255.0.0.0  127.0.0.1    127.0.0.1     1
        147.91.4.0        255.255.255.128 147.91.4.8    147.91.4.8    20
        147.91.4.8        255.255.255.255 127.0.0.1    127.0.0.1    20
      147.91.255.255        255.255.255.255 147.91.4.8    147.91.4.8    20
          224.0.0.0        240.0.0.0  147.91.4.8    147.91.4.8    20
        255.255.255.255        255.255.255.255 147.91.4.8    147.91.4.8     1
Default Gateway:             147.91.4.1
```

- Linux:

- **route**

```
Linux# route
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask        Flags Metric Ref  Use Iface
 147.91.3.8     *           255.255.255.248 U        0      0      0 eth0
 10.0.9.0       *           255.255.255.0   U        0      0      0 eth1
 169.254.0.0    *           255.255.0.0    U        0      0      0 eth1
 default        147.91.3.9  0.0.0.0      UG       0      0      0 eth0
```

# Pregled interfejsa - *ipconfig*

- Pregled parametara mrežnih interfejsa na Windows računaru:
    - **ipconfig**

```
C:\Windows\System32>ipconfig /all

Ethernet adapter Ethernet 3:

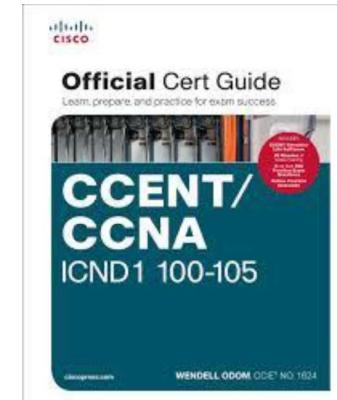
Connection-specific DNS Suffix . . .
Description . . . . . : Cisco AnyConnect Secure Mobility Client Virtual
Miniport Adapter for Windows x64
Physical Address. . . . . : 00-05-9A-3C-7A-00
DHCP Enabled. . . . . : No
Autoconfiguration Enabled . . . . : Yes
IPv4 Address. . . . . : 172.16.7.222(Preferred)
Subnet Mask . . . . . : 255.255.0.0
Default Gateway . . . . . :
DNS Servers . . . . . : 172.16.0.103
NetBIOS over Tcpip. . . . . : Enabled

Ethernet adapter Ethernet 4:

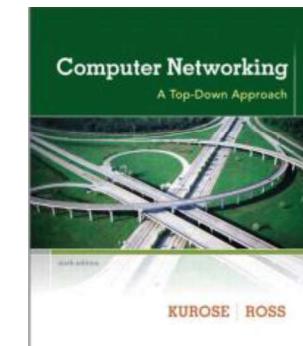
Connection-specific DNS Suffix . . .
Description . . . . . : Intel(R) Ethernet Connection (2) I219-V
Physical Address. . . . . : 90-1B-0E-ED-C9-2A
DHCP Enabled. . . . . : No
Autoconfiguration Enabled . . . . : Yes
IPv4 Address. . . . . : 147.91.4.72(Preferred)
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.128
Default Gateway . . . . . : 147.91.4.62
DNS Servers . . . . . : 147.91.4.64
                                         147.91.1.5
NetBIOS over Tcpip. . . . . : Enabled
```

# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press



- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET



# Rutiranje

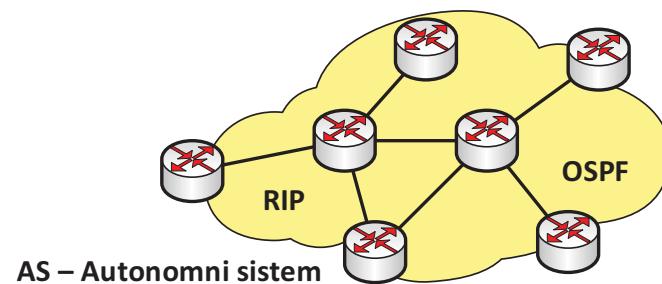
- Statičko rutiranje
  - Ručno se definišu rute do IP mreža
- Dinamičko rutiranje
  - Ruteri razmenjuju informacije i automatski određuju rute do IP mreža
- Protokoli rutiranja (routing protokoli)
  - Ne služe za rutiranje poruka
  - Služe da ruteri nauče kako da rutiraju poruke – uspostavljaju routing tabele
- Osnovni principi:
  - Obaveštavaju druge ruterne o mrežama za koje oni imaju informacije (oglašavaju rute preko „routing apdejta“ – „routing update“)
  - Prikupljaju informacije o drugim mrežama od drugih ruteru
  - Ako postoji više ruta do neke mreže, bira se najbolja ruta na bazi određene metrike i ta ruta se upisuje u routing tabelu
  - Ako dođe do promene topologije, ponovo se bira najbolja ruta na bazi metrike i drugim ruterima se oglašava novo stanje

# Podela protokola rutiranja

- Protokoli rutiranja
  - Interni
    - ***Distance Vector***
      - RIP – *Routing Information Protocol*
      - IGRP – *Interior Gateway Routing Protocol*
    - ***Link State***
      - OSPF – *Open Shortest Path First*
      - IS-IS – *Intermediate System to Intermediate System*
    - Hibridni
      - EIGRP – *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*
  - Eksterni
    - BGP – *Border Gateway Protocol*
- Osnovni cilj svih ruting protokola – uspostavljanje ruting tabele
  - Potpuno – za sve mreže u ruting domenu na svim ruterima
  - Konzistentno – ispravno, bez ruting petlji
  - Optimalno – prema odgovarajućoj metrići
  - Adaptivno – prilagođavanje promeni topologije

# Autonomni sistem

- Autonomni sistem – AS (*Autonomous System*)
  - Jedinstveni administrativni domen računarske mreže
  - Jedinstveno upravljanje mrežom
    - NOC (*Network Operation Center*) – centar za upravljanje mrežom
    - Pažljiv dizajn i upravljanje jedinstvenim adresnim prostorom
    - Usaglašeno rutiranje
    - Konfiguracije ruteru su usaglašene, promene sinhronizovane itd.
- Primeri:
  - Akademska mreža, korporacijske mreže, provajderske mreže



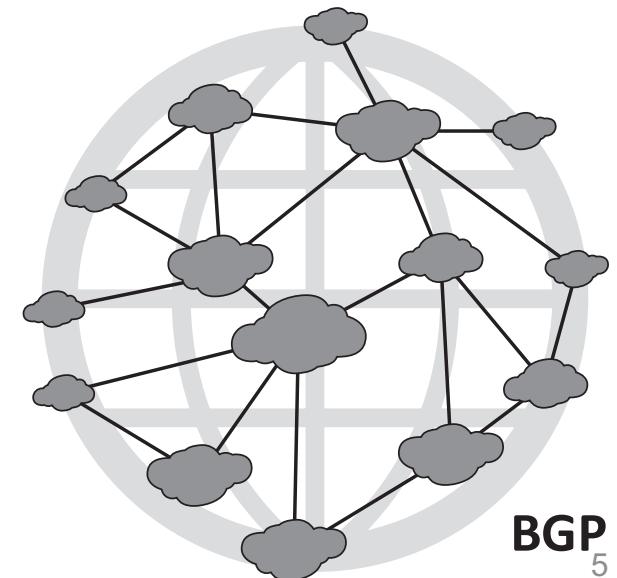
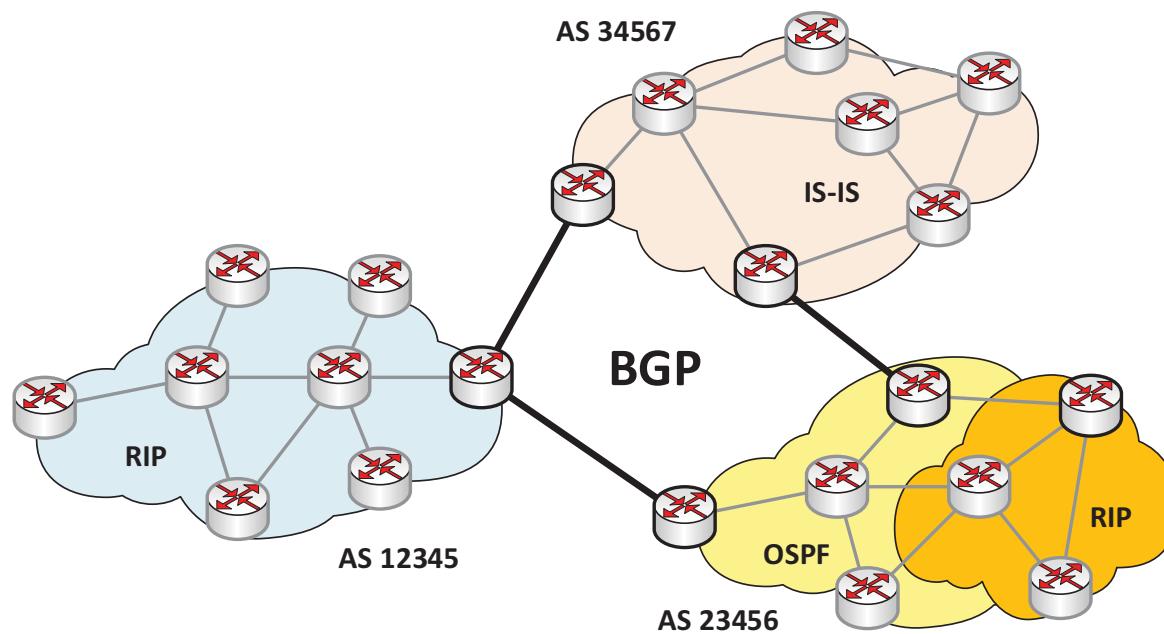
# Interni i Eksterni protokoli rutiranja

- **Interni protokoli rutiranja**

- Unutar jednog autonomnog sistema
- Ruting domen – deo mreže sa jednim ruting protokolom
- Jedan AS obično jedan ruting dome, ali može i više

- **Eksterni protokoli rutiranja**

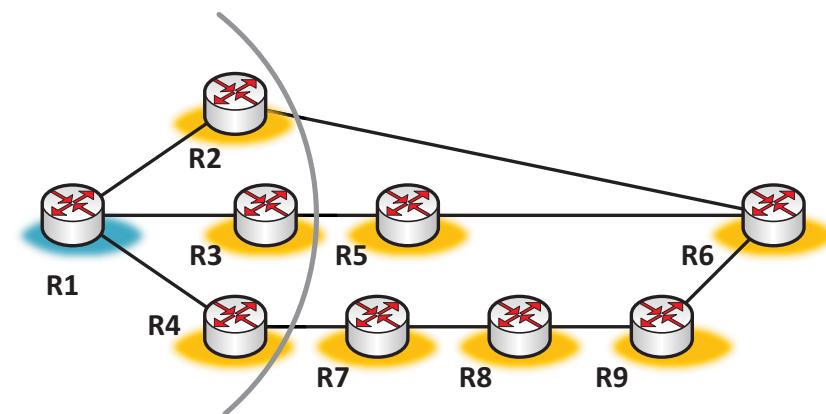
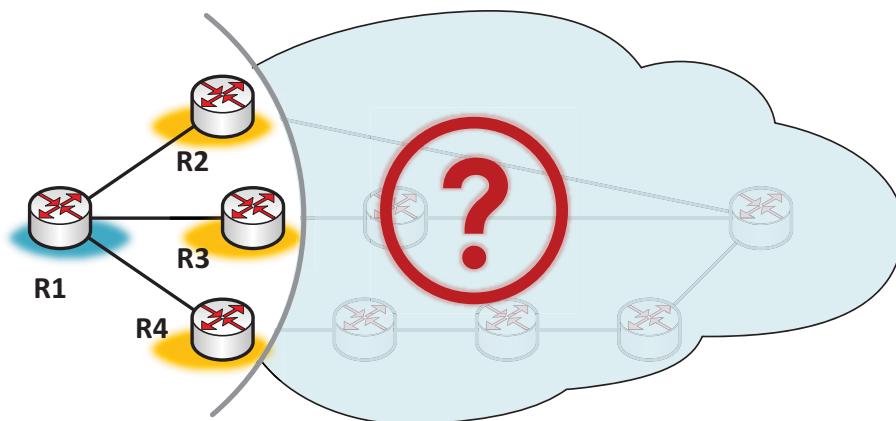
- Između autonomnih sistema, tačnije između „graničnih ruter“
- Internet - BGP eksterni protokol rutiranja između autonomnih sistema



# *Distance Vector vs. Link State*

- ***Distance Vector***

- Susedni ruteri razmenjuju informacije o mrežama, na osnovu kojih saznaju:
  - Distancu do određene mreže - metrika
  - Vektor koji vodi do određene mreže - *next-hop*
- Ruteri poznaju samo susedne rutere, ali ne i celu topologiju
- Rute se periodično razmenjuju

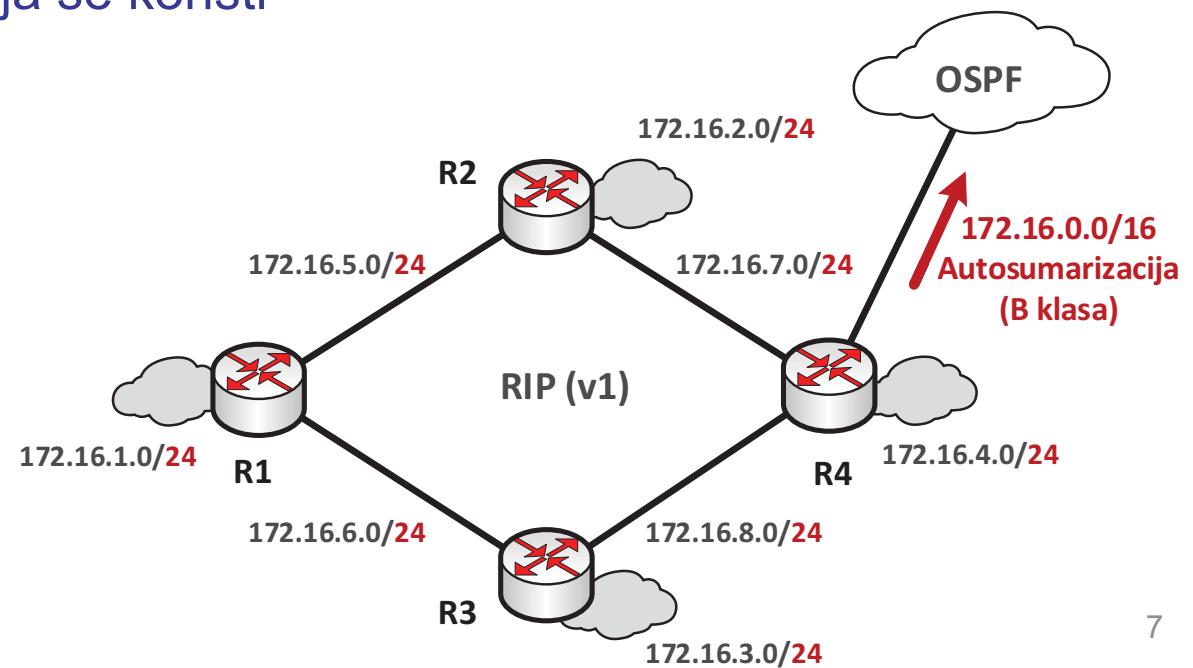


- ***Link State***

- Tokom razmene informacija sa susednim ruterima, saznaće se cela topologija mreže, sa svim parametrima (brzine veza, adrese itd.)
- Informacije se ne razmenjuju periodično, već samo pri promeni topologije<sup>6</sup>

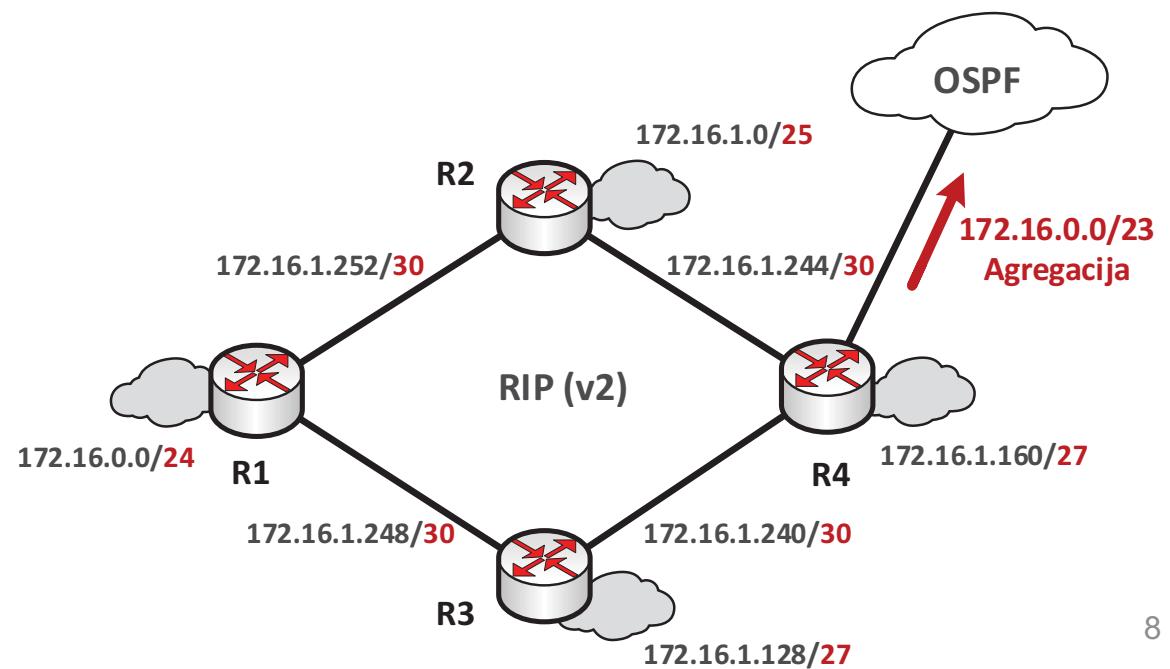
# *Classful* ruting protokoli

- Rute koje se razmenjuju ne sadrže maske
- Podržane su maske, ali su iste dužine u svim IP mrežama
  - Svi ruteri implicitno znaju maske na osnovu konfiguracije svojih interfejsa
- Autosumarizacija – automatska agregacija svih IP mreža
  - Sprovodi se na vezi sa drugi ruting domenom
  - *Classful* – sprovodi se na nivou mrežnog dela klase A, B i C, nezavisno od maske koja se koristi
    - 172.16.0.0/16



# *Classless ruting protokoli*

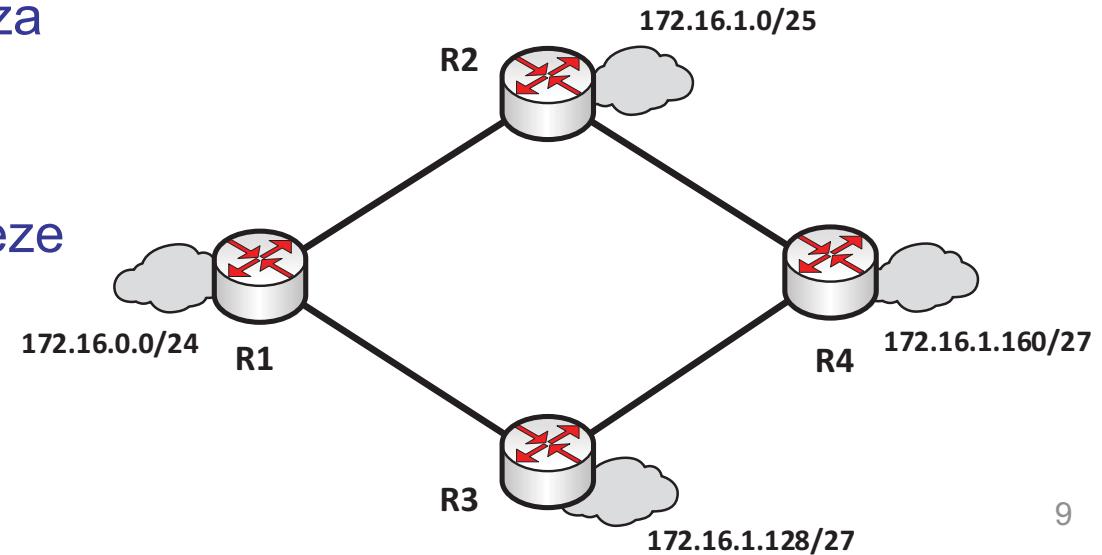
- Maske su sadržane u rutama koje se razmenjuju između rutera
  - Promenljiva dužina maske (VLSM)
  - Fleksibilno agregiranje IP mreža – prenošenje agregirane rute u drugi ruting domen
- Već dosta dugo se koriste isključivo *classless ruting protokoli*



# Metrika

- Metrika
  - Za izbor najbolje rute kada postoji više različitih ruta do određene mreže
  - Posmatra se na nivou cele putanje do određene mreže
- Može se koristiti
  - **Hop count** – broj koraka (ruter) do posmatrane mreže
  - **Bandwidth** – izvedeno iz brzine veza (propusni opseg)
  - **Cost** – proizvoljna cena koja se definiše
  - **Delay** – kašnjenje koje veza unosi (npr. satelitske veze imaju veće kašnjenje od zemaljskih veza nezavisno od kapaciteta)
  - **Load** – opterećenje linka
  - **Reliability** – pouzdanost veze

Mreža	Met
172.16.0.0/24	0
172.16.1.0/25	1
172.16.1.128/24	1
172.16.1.160/27	2

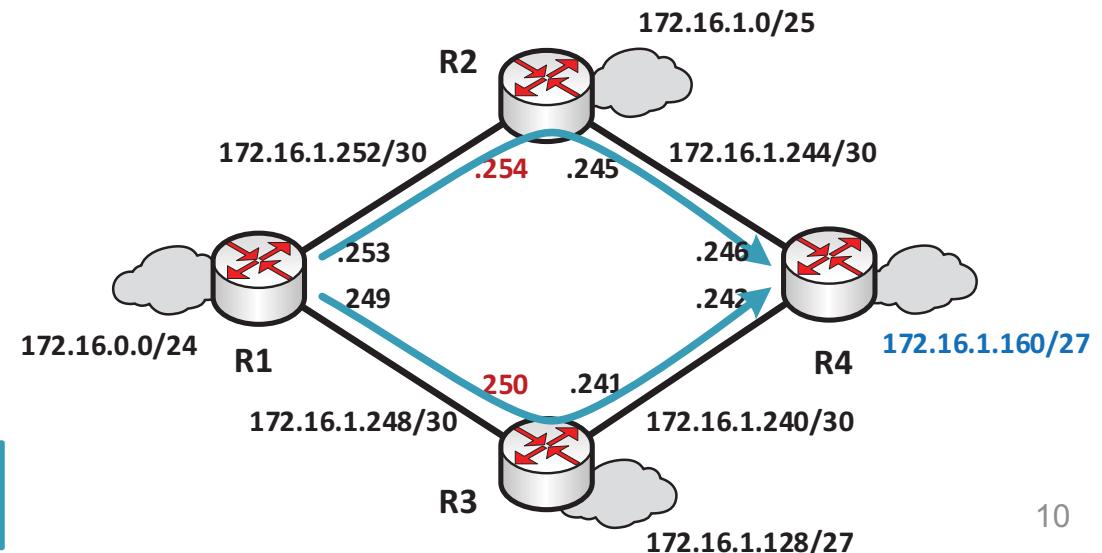


# Balansiranje saobraćaja

- ***Load Balancing***

- Više putanja ( ruta) do određene mreže sa istom metrikom
- Slanje paketa preko više odlaznih veza
  - Obično jedan komunikacioni tok (svi paketa iste komunikacije) ipak ide samo preko jedne veze, a drugi tok može preko druge veze
  - Statistički se postiže ravnomernije opterećenje
- Bolje iskorišćenje ukupnog propusnog opsega
- U ruting tabeli za jednu mrežu postoji dve ili više *next-hop* adresa

R1: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
172.16.0.0/24	0	Connected
172.16.1.0/25	1	172.16.1.254
172.16.1.128/24	1	172.16.1.250
172.16.1.160/27	2	172.16.1.250
		172.16.1.254



# Administrativna distanca

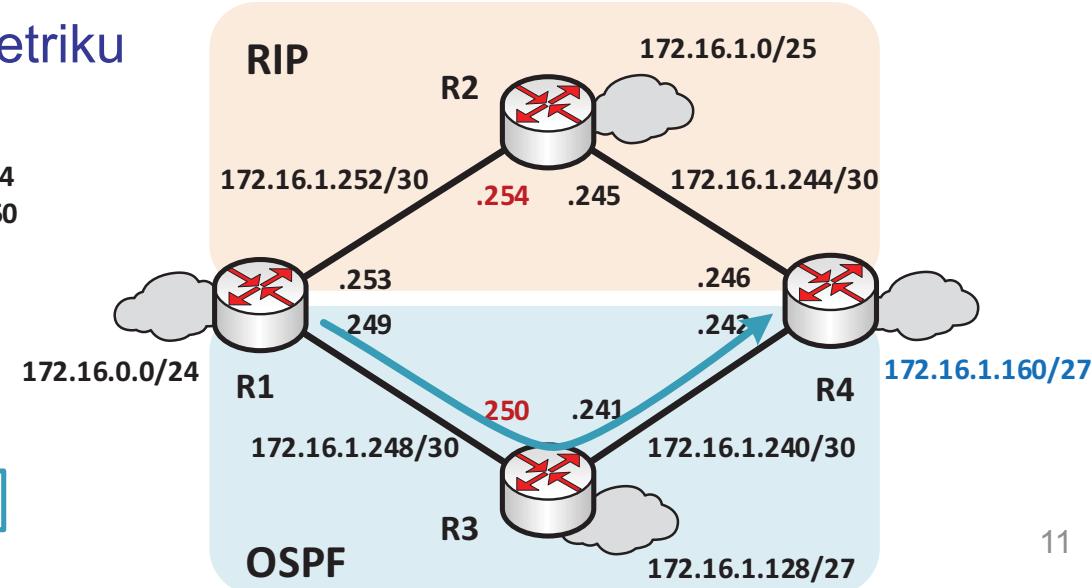
- Problem: dve različite rute do iste mreže dobijene preko različitih ruting protokola
  - Neuporedive metrike – npr. *hop-count* i *bandwidth*
- Administrativna distanca
  - Fiksne vrednosti za različite protokole rutiranja
  - Određuje prioritet rute u slučaju poređenja sa rutom od drugog protokola
  - Manja vrednost – veći prioritet
  - Veća težina u odnosu na metriku

172.16.1.160/27

RIP : AD=120, met= 2, next-hop=172.16.1.254  
 OSPF : AD=110, met= 129, next-hop=172.16.1.250

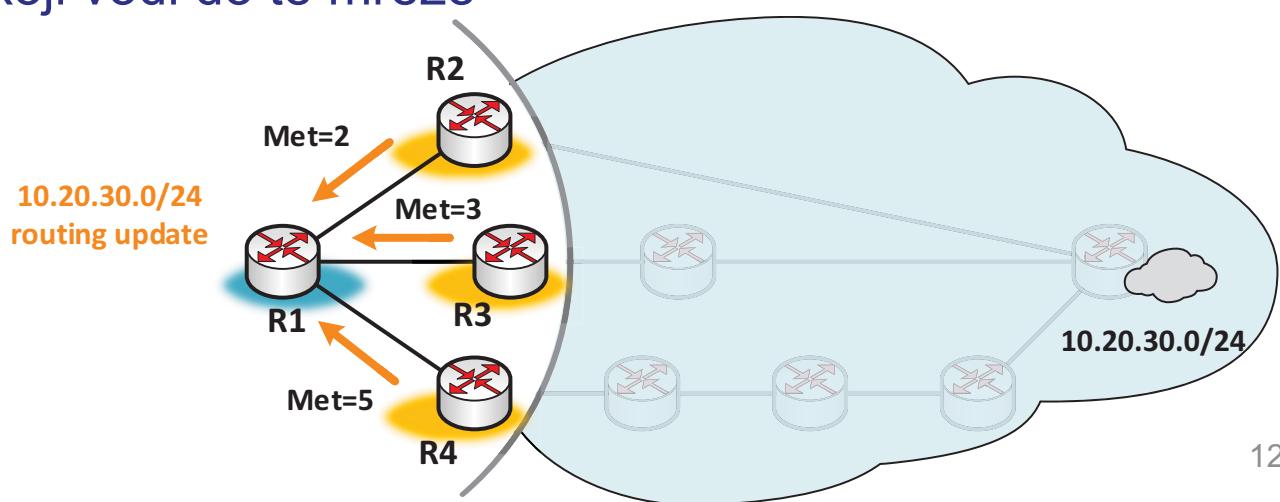
R1: Ruting tabela			
Mreža	AD	Met	Next-hop
172.16.0.0/24	0	0	Connected
172.16.1.0/25	120	1	172.16.1.254
172.16.1.128/24	120	1	172.16.1.250
172.16.1.160/27	110	129	172.16.1.250

Connected	0
Static	1
EIGRP summary	5
BGP external	20
EIGRP internal	90
IGRP	100
OSPF	110
RIP	120
EIGRP external	170
BGP internal	200



# *Distance Vector* protokoli rutiranja

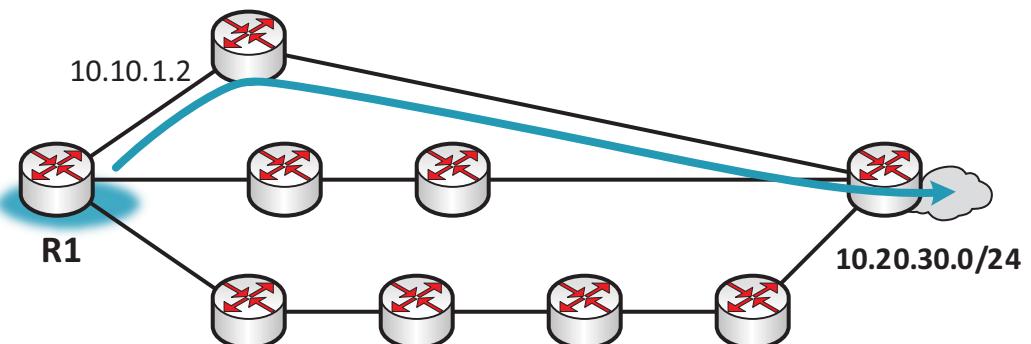
- Osnovni cilj – uspostavljanje ruting tabele
  - Potpuno, konzistentno, optimalno, adaptivno
- Razmena ruting informacija sa susednim ruterima (razmena ruta, tzv. ruting apdjet – „*ruting update*“)
  - Adresa mreže (sa maskom)
  - Metrika do mreže
- Na osnovu ruta od susednih ruter, posmatrani ruter zna:
  - Distancu (metriku) do određene mreže
  - Vektor (*next-hop*) koji vodi do te mreže
- Ruter ne zna:
  - Ostale ruter
  - Topologiju mreže
  - Brzine veza i druge detalje



# *Distance Vector* protokoli rutiranja

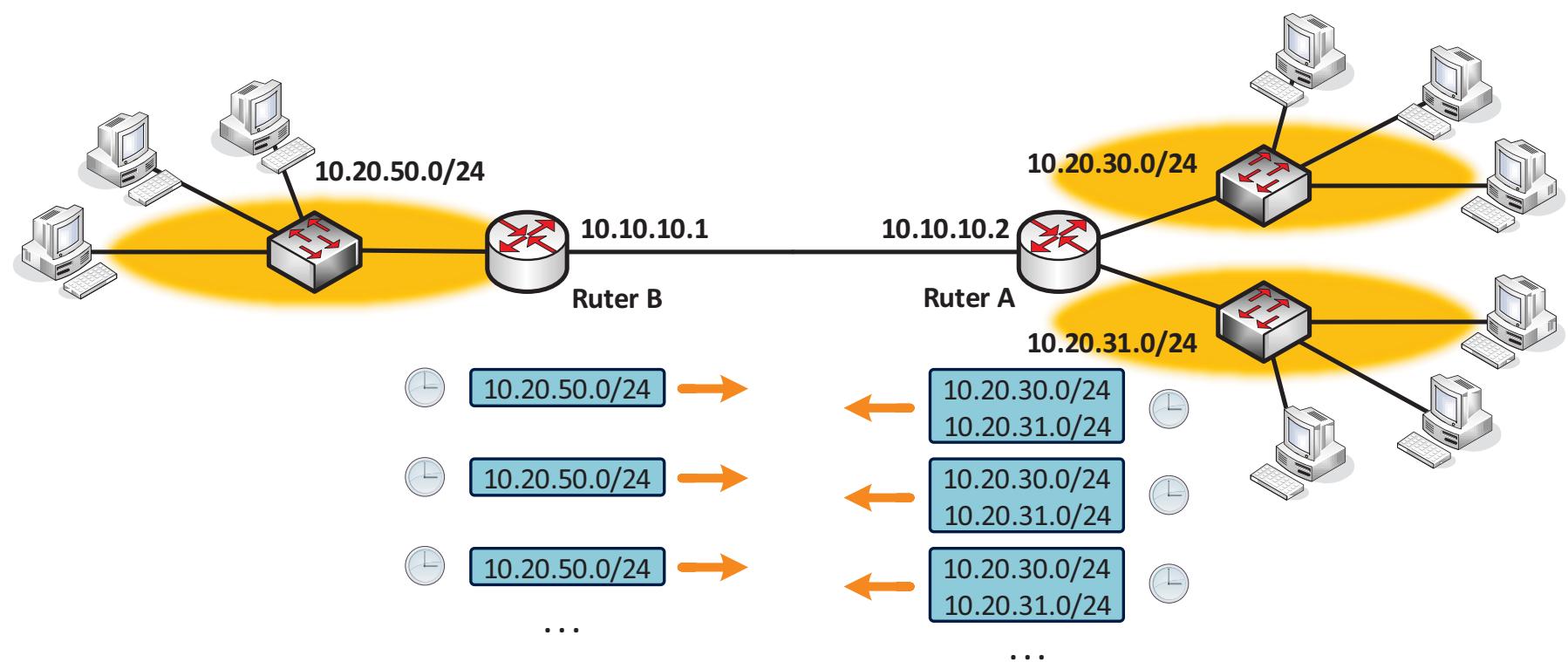
- Pravilo
  - Samo se najbolja ruta bira i upisuje u ruting tabelu
  - U slučaju više najboljih ruta – sve se upisuju (*load balancing*)
- Rezultat
  - I dalje se ne zna topologija mreže i ostali detalji
  - Znaju se sve IP mreže, „distance“ (metrike) i „vektori“ (*next-hop*) do njih
    - Popunjena ruting tabela za svaku IP mrežu u ruting domenu

R1: Ruting tabela			
Mreža	AD	Met	Next-hop
...	...	...	...
10.20.30.0/24	120	2	10.10.1.2
...	...	...	...



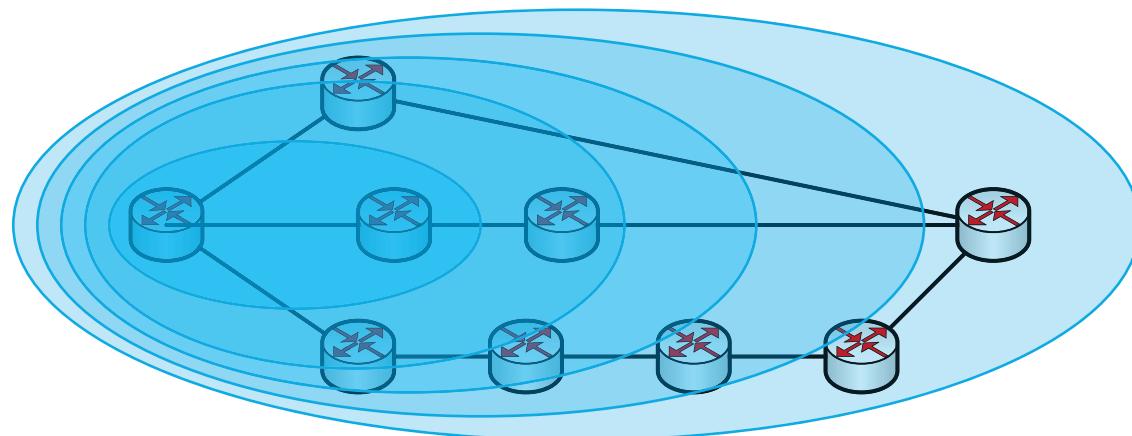
# *Distance Vector* protokoli rutiranja

- Ruteri periodično oglašavaju rute iz ruting tabele
  - Ovlašava se “pogled” na ostatak mreže iz ugla rutera
  - Periodično (npr. na 30 sek), čak i kada nema promena
- Oglašavanje rute u jednom smeru utiče na rutiranje ka oglašenoj mreži iz suprotnog smeru



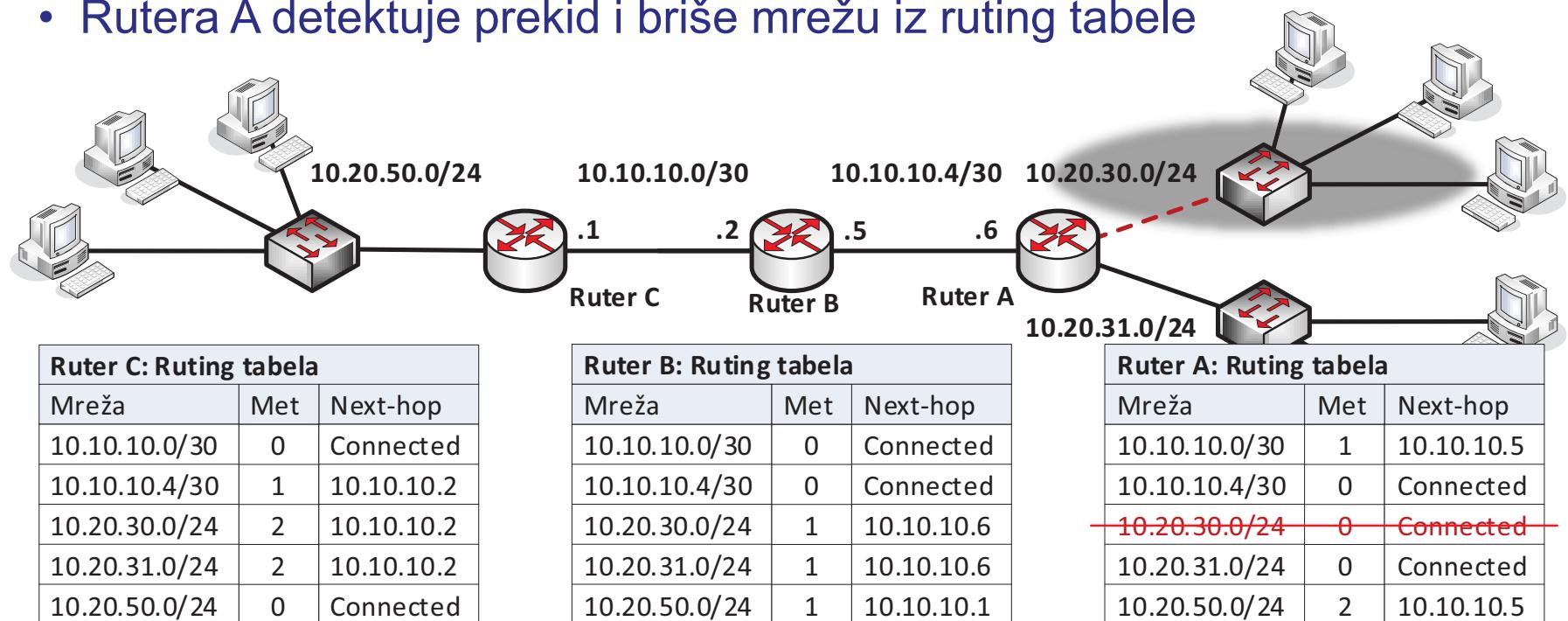
# *Distance Vector* protokoli rutiranja

- Konvergencija – proces uspostavljanja stabilnog i konzistentnog stanja na svim ruterima u mreži
  - Stabilno stanje – ruting tabele se ne menjaju sa novim ruting apdejtimi
  - Konzistentno stanje – sve rute su ispravne, nema nepravilnosti
- Konvergencija zavisi od:
  - Brzine propagacije ruting apdejta od rutera do rutera (u sekundama)
  - Brzine računanja ruta i uspostavljanja ruting tabela (u milisekundama)
- Cilj - što brža konvergencija !



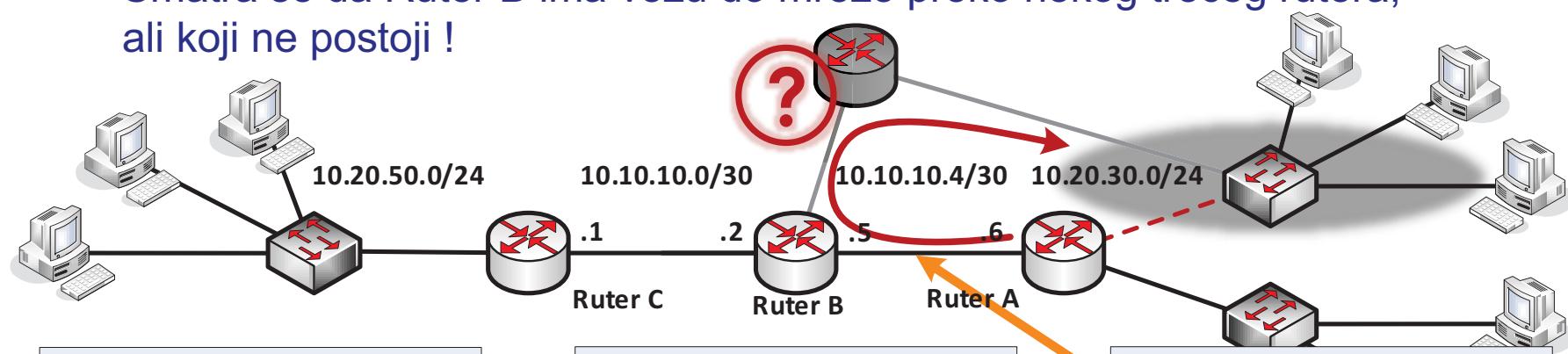
# Ruting petlje

- Tokom konvergencije može nastati nekonzistentno stanje ruting tabela i petlje pri rutiranju, tzv. ruting petlje
- Primer:
  - Ispravno popunjene ruting tabele
  - Prekida se veza mreže  $10.20.30.0/24$
  - Rutera A detektuje prekid i briše mrežu iz ruting tabele



# Ruting petlje

- Naredni ruting apdejt od Rutera B prema Ruteru A
  - Ruter B ima u ruting tabeli vezu prema mreži 10.20.30.0/24, sa metrikom 1
  - Ruter A prihvata ovaj apdejt
    - Povećava metriku iz apdejta za 1 i postavlja na 2
    - Upisuje *next-hop* Rutera B – 10.10.10.5
    - Smatra se da Ruter B ima vezu do mreže preko nekog trećeg rutera, ali koji ne postoji !



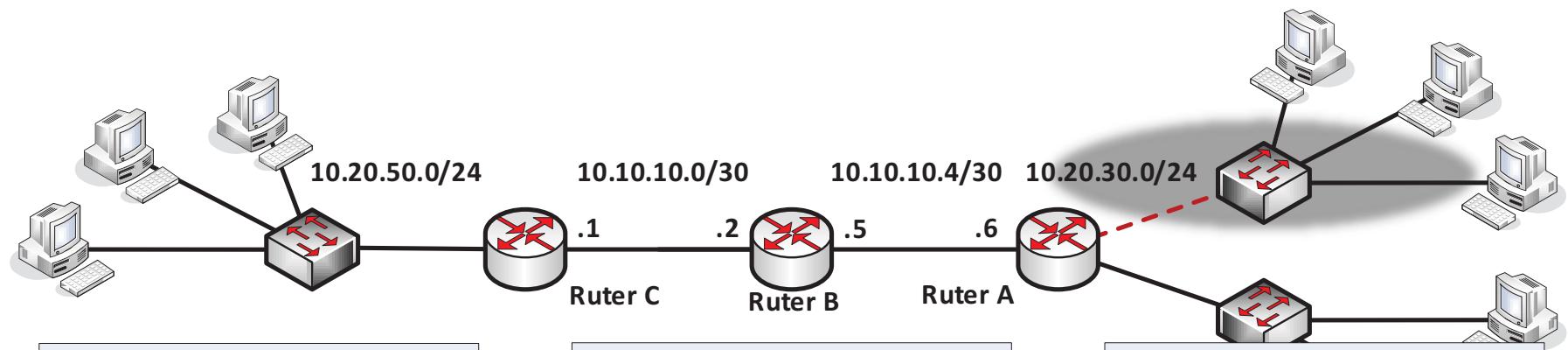
Ruter C: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	1	10.10.10.2
10.20.30.0/24	2	10.10.10.2
10.20.31.0/24	2	10.10.10.2
10.20.50.0/24	0	Connected

Ruter B: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	1	10.10.10.6
10.20.31.0/24	1	10.10.10.6
10.20.50.0/24	1	10.10.10.1

Ruter A: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	1	10.10.10.5
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	2	10.10.10.5
10.20.31.0/24	0	Connected
10.20.50.0/24	2	10.10.10.5

# Ruting petlje

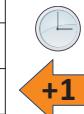
- Naredni ruting apdejt od Rutera A prema Ruteru B
  - Ruter A ima u ruting tabeli vezu prema 10.20.30.0/24, sa metrikom 2
  - Ruter B prihvata ovaj apdejt
    - Povećava metriku iz apdejta za 1 i postavlja na 3
    - Upisuje *next-hop* Rutera A – 10.10.10.6



Ruter C: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	1	10.10.10.2
10.20.30.0/24	2	10.10.10.2
10.20.31.0/24	2	10.10.10.2
10.20.50.0/24	0	Connected

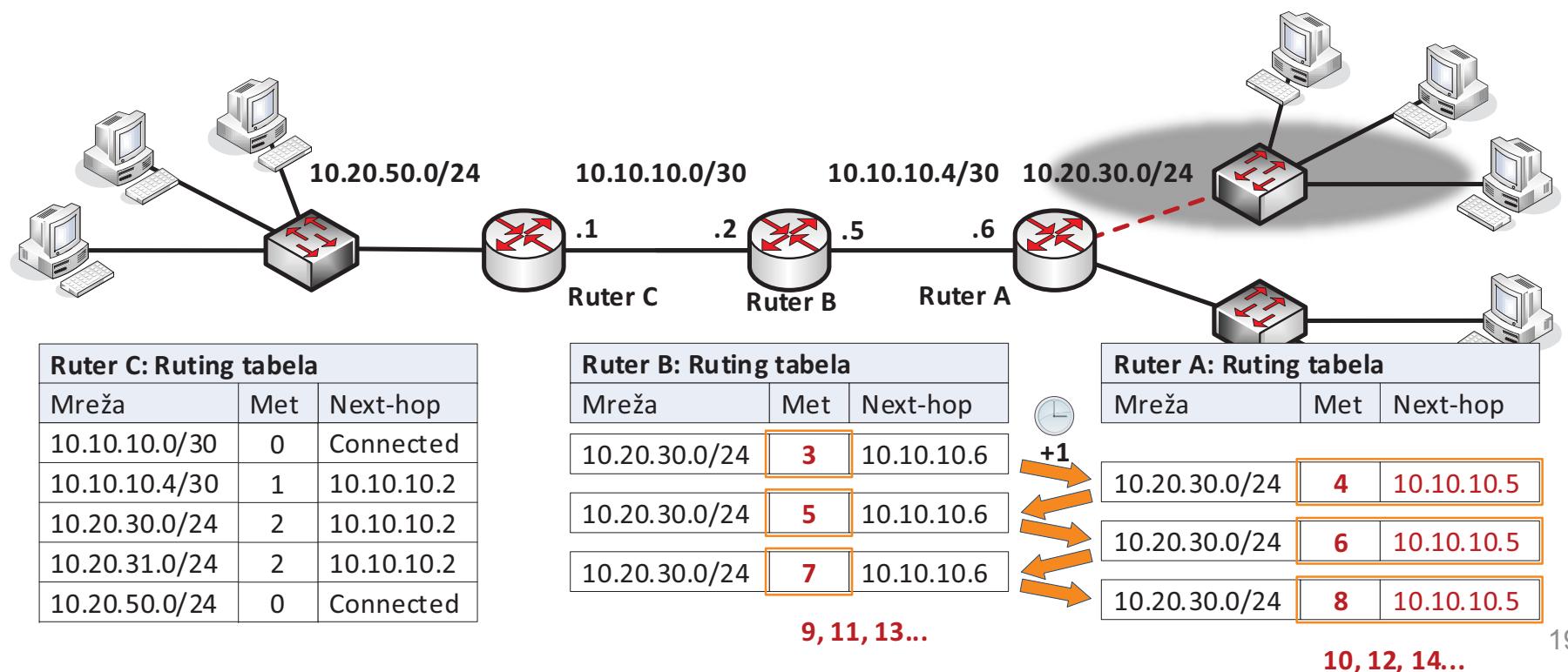
Ruter B: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	0	Connected
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	3	10.10.10.6
10.20.31.0/24	1	10.10.10.6
10.20.50.0/24	1	10.10.10.1

Ruter A: Ruting tabela		
Mreža	Met	Next-hop
10.10.10.0/30	1	10.10.10.5
10.10.10.4/30	0	Connected
10.20.30.0/24	2	10.10.10.5
10.20.31.0/24	0	Connected
10.20.50.0/24	2	10.10.10.5



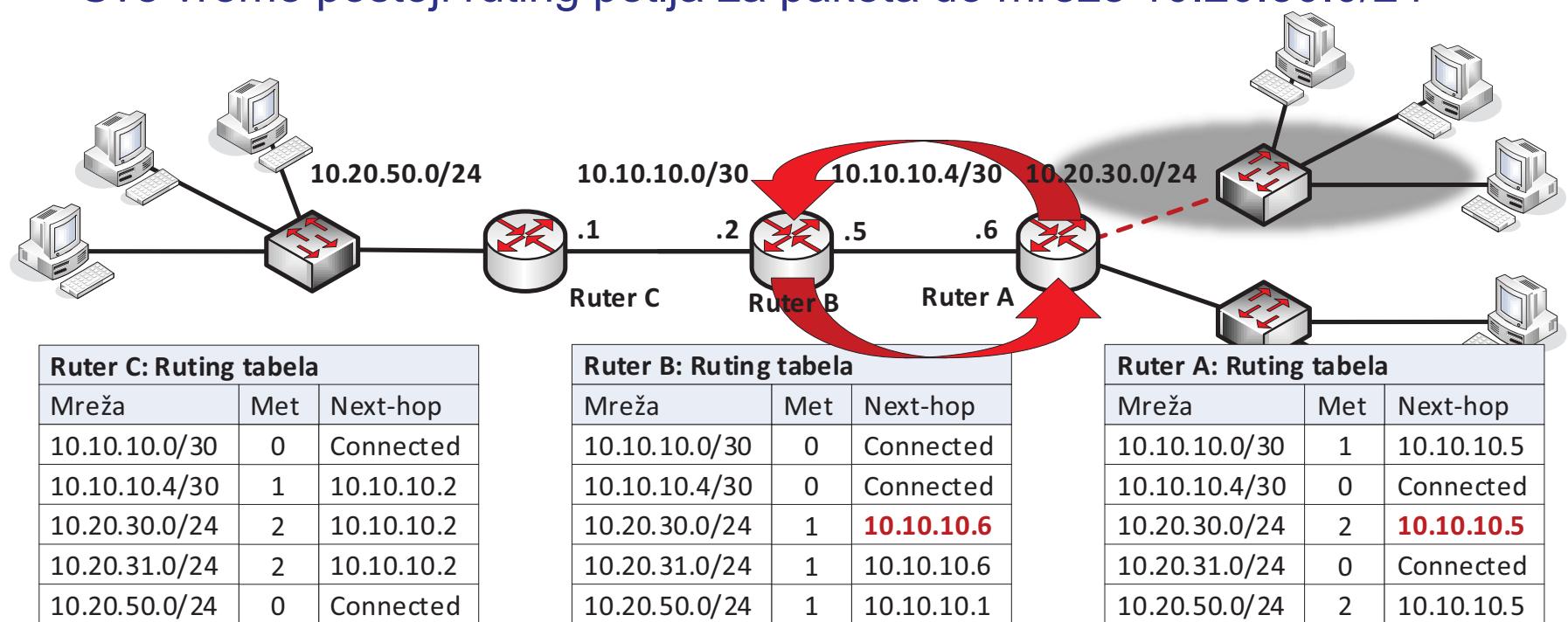
# Ruting petlje

- Naizmenično se nastavlja apdejti između Ruterom A i Ruterom B
- Metrika se povećava do „beskonačnosti“
  - Ruter A: 0, 2, 4...
  - Ruter B: 1, 3, 5...
- Problem: „Count-to-Infinity“



# Ruting petlje

- Problem: „Count-to-Infinity“
  - Povećanje metrike do „beskonačnosti“
    - „beskonačnost“ = fiksna maksimalna vrednost, npr. 16
  - Nakon toga obe rute postaju nevalidne i brišu se iz ruting tabala Rutra A i Ruter B
  - Sve vreme postoji ruting petlja za paketa do mreže 10.20.30.0/24

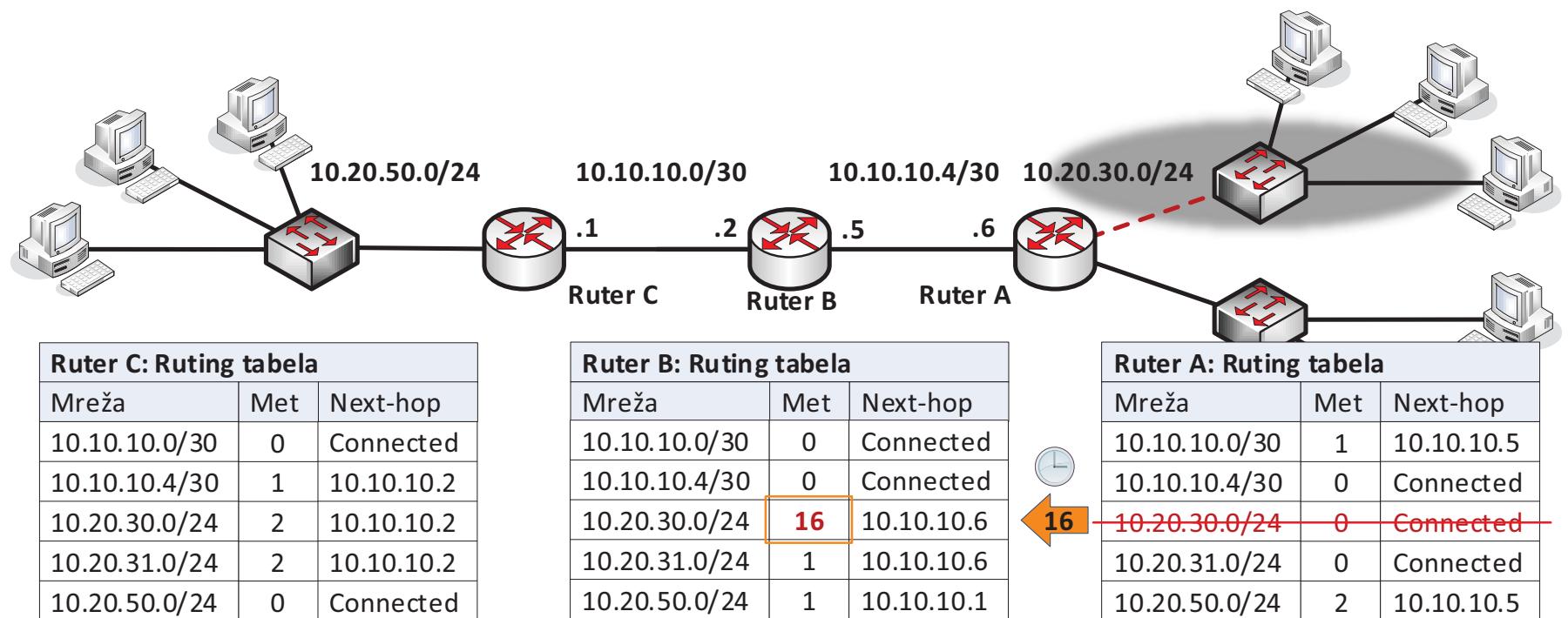


# Tehnike zaštite od ruting petlji

- Na nivou IP protokola
  - *Time to Live*
- Na nivou ruting protokola
  - *Route Poisoning*
  - *Triggered update*
  - *Split horizon*
  - *Holddown Timer*

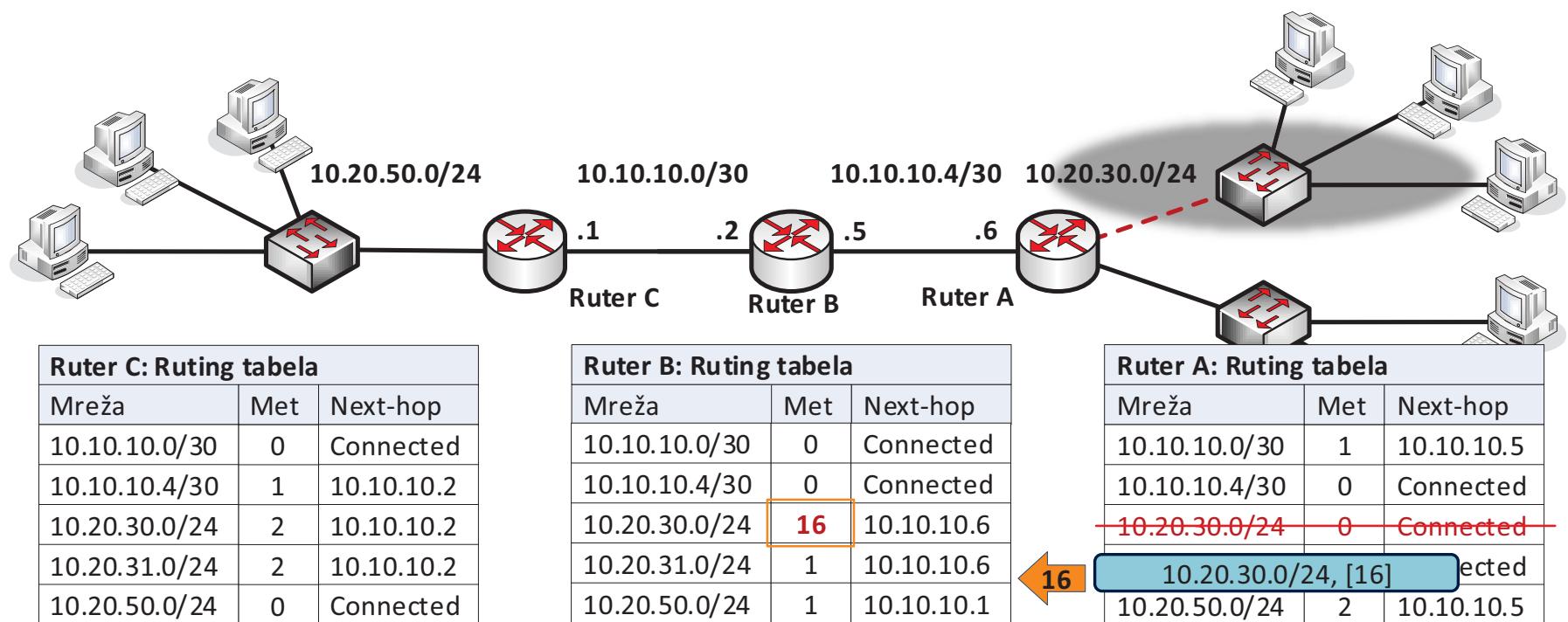
# Route Poisoning

- Oglašavanje da je mreža postala nedostupna (*unreachable*)
  - Ruta se briše iz ruting tabele i oglašava se sa “beskonačnom” metrikom
- Kada ostali ruteri dobiju rutu sa “beskonačnom” metrikom
  - Upisuju ovu rutu u ruting tabelu – ruta je nevalidna
  - Čuvaju rutu u ruting tabeli određeno vreme



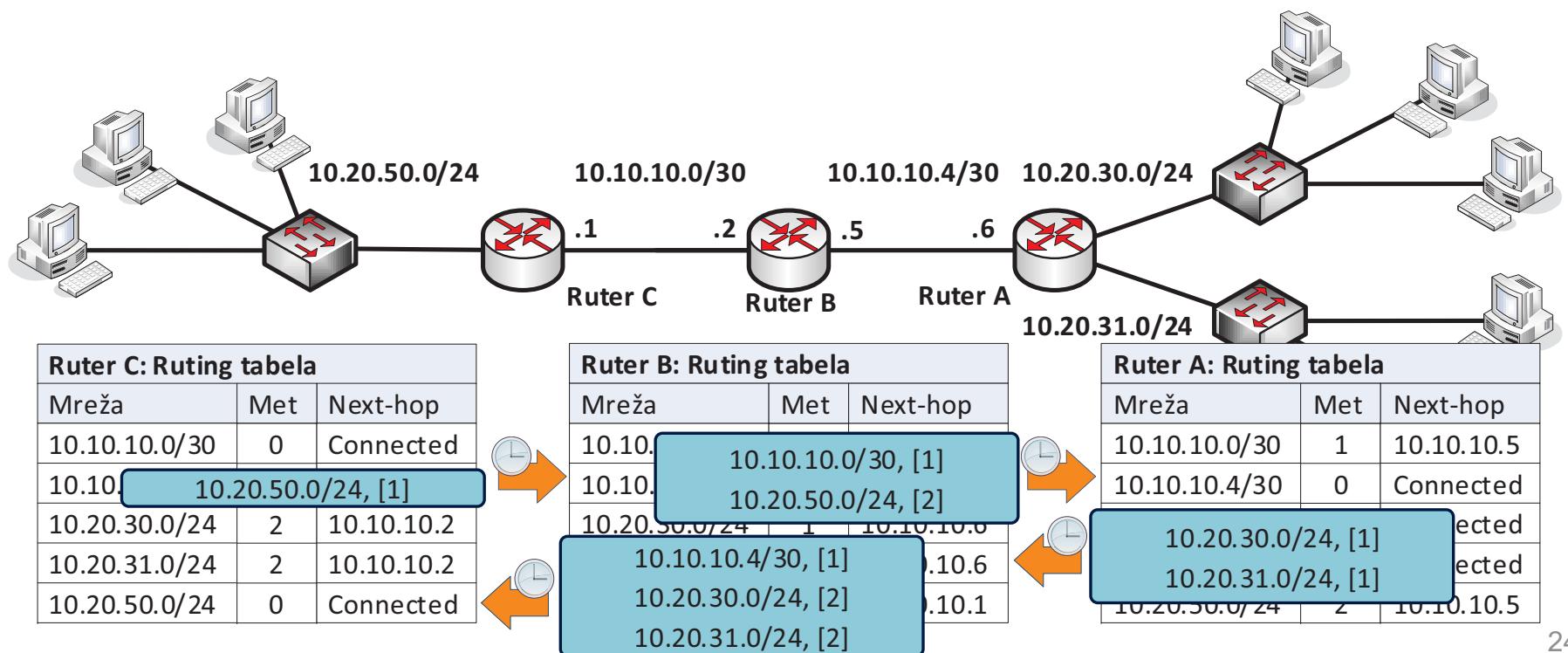
# Triggered update

- Kada ruta postane nedostupna
  - Ne čeka se sledeći periodični ruting apdejt
  - Istog trenutka se oglašava da je nedostupna
- Oglašava se samo jedna ruta, a ne celi *ruting tabela*
- Konvergencija se značajno ubrzava



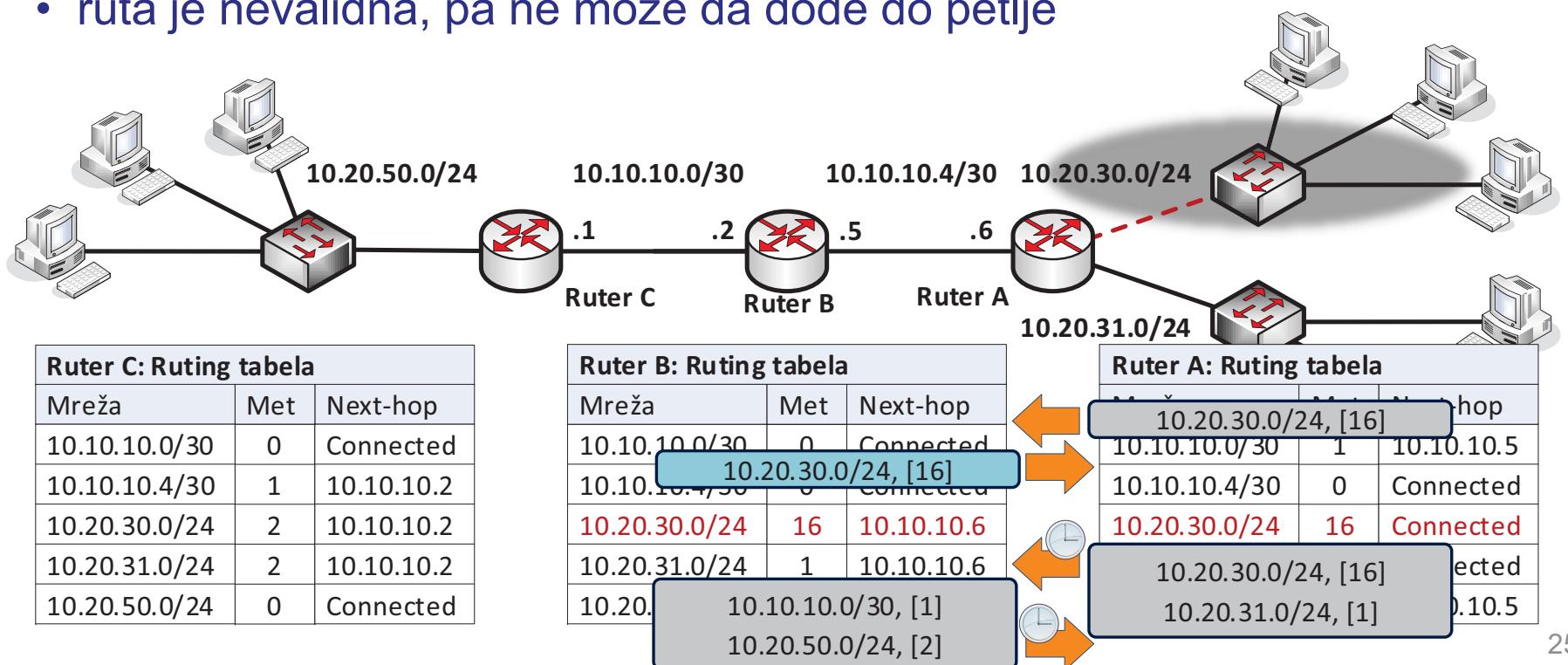
# Split Horizon

- Pravilo *Split Horizon*:
  - Nikada se ne oglašava ruta na interfejs preko koga je ta ruta pristigla



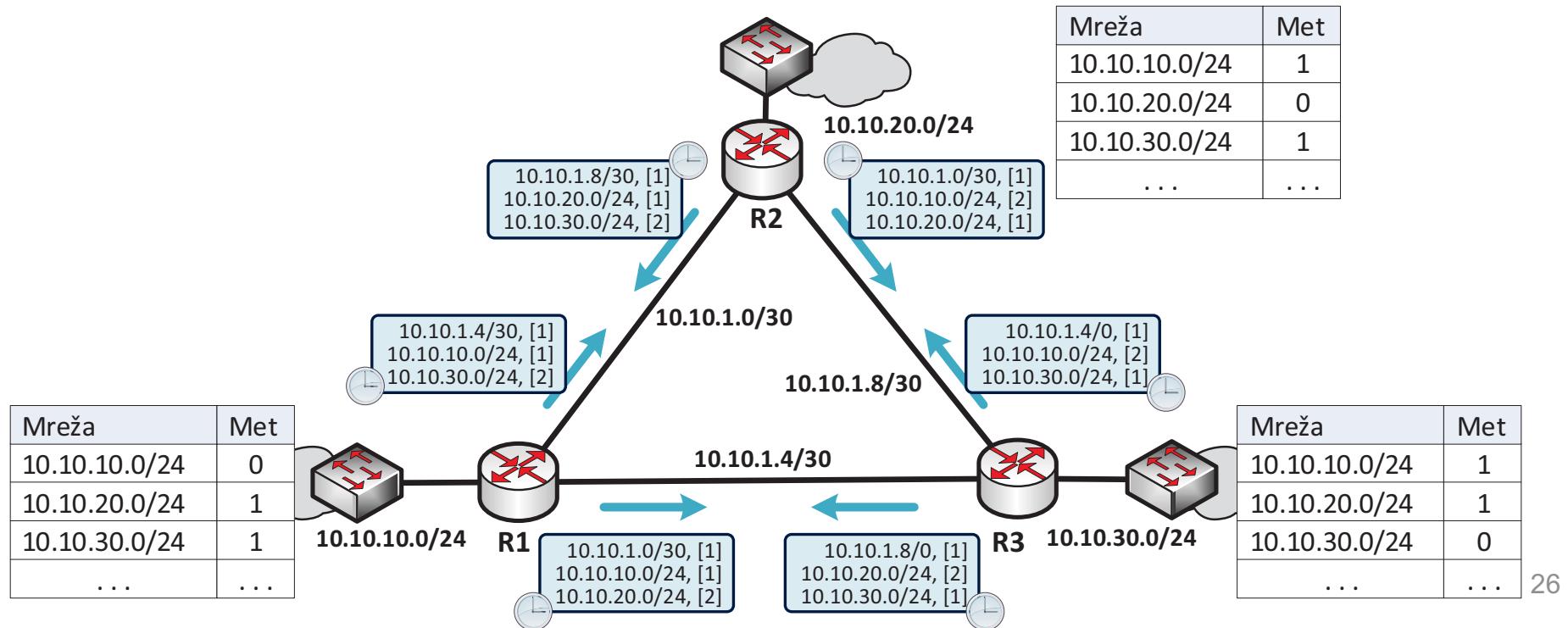
# Split Horizon & Poison Reverse

- *Poison Reverse*
  - Nevalidna ruta se ipak oglašava na interfejse preko kojeg je ta ruta pristigla - suspenduje se pravilo *Split Horizont* samo za ovaj slučaj
  - Koristi se *Triggered Update*
- Ruter potvrđuje da nema bolju rutu
  - ruta je nevalidna, pa ne može da dođe do petlje



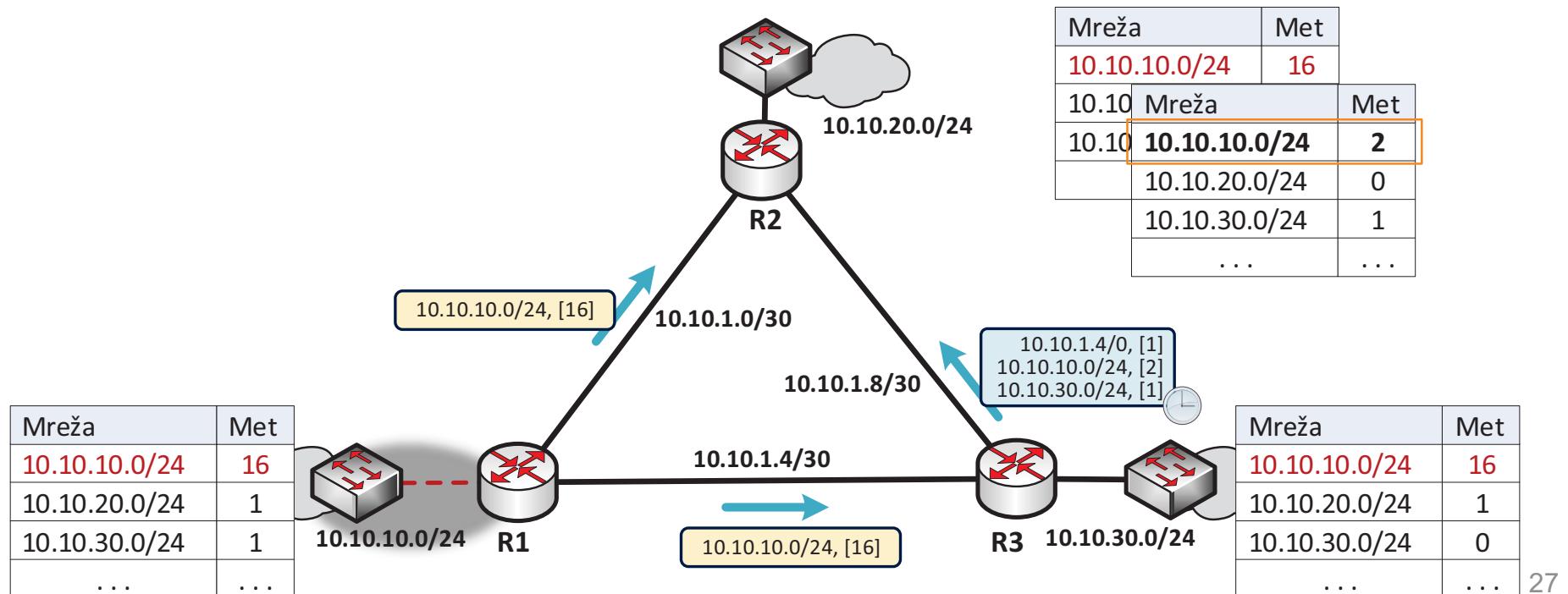
# Primer sa redundantnim vezama

- Stacionarno stanje
  - Svi ruteri oglašavaju rute prema pravilu *Split Horizon*
  - R1 i R2 međusobno ipak razmenjuju rutu do mreže 10.10.30.0/24, jer su tu rutu naučili od R2



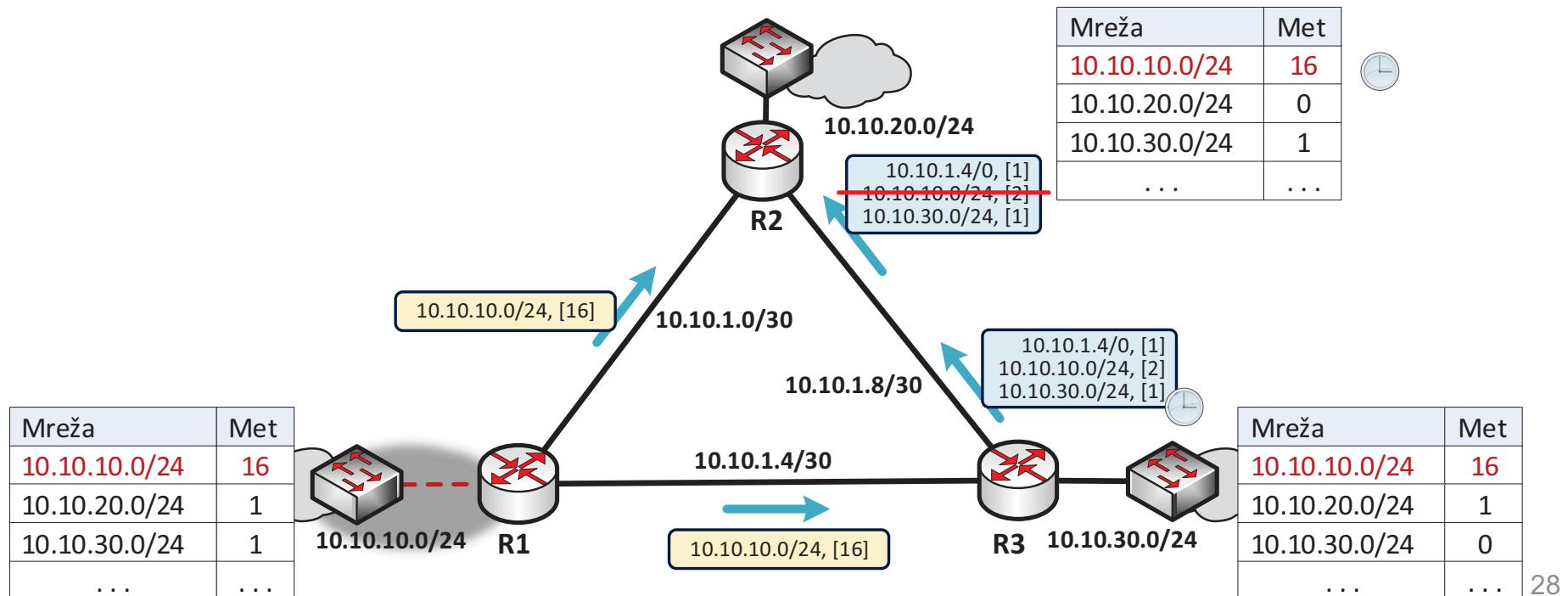
# Primer sa redundantnim vezama

- *Route Poisoning, Triggered update i Split horizon*  
ipak nisu dovoljni:
  - Poslat *Route Poisoning* i *Triggered update* za mrežu 10.10.10.0/24 do R2
  - R3 šalje regularni updejt neposredno pre nego što stigne trigerovana ruta
  - U ruting tabelu R2 se upisuje beskonačna metrika 16
  - Pristiže regularni updejt sa zastarelom informacijom – metrika 2!



# Holddown timer

- Smisao – čeka se određene vreme da bi se informacija o promeni propagirala do svih ruta
- Kada ruter dobije *Route Poisoning Triggered update*
  - Startuje se *Holddown timer*
  - Tokom *Holddown* vremena ignorišu se sve nove rute za tu mrežu



# *Routing Information Protocol – RIPv1*

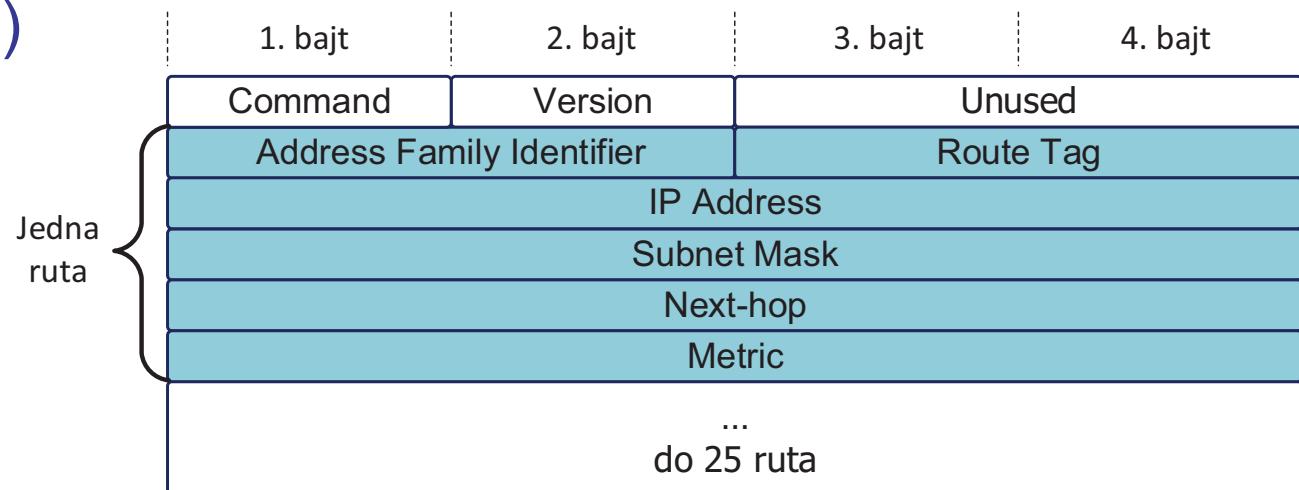
- **RIP verzija 1** - RFC 1058, 1988.
- Administrativna distanca - 120
- *Classful* – ne podržava VLSM, automatska autosumarizacija
- Metrika – *hop-count*, max. 16
- RIP radi na aplikativnom nivou
  - RIP poruke se prenose unutar UDP poruka na 4. nivou – UDP port 520
- Komunikacija u dva koraka, na svakih 30 sekundi:
  1. *RIP Request* poruka
    - Navodi se mrežna adresa za koju se traže rute – tipično 0.0.0.0 za sve rute
    - Slanje na brodcast adresu 255.255.255.255 („*This network*“)
  2. *RIP Response* poruka
    - Odgovara se na upit – obično sve rute (cela ruting tabela)
    - Do 25 ruta u jednoj poruci
    - Slanje na unikast adresu ruteru koji je poslao upit

# *Routing Information Protocol – RIPv2*

- **RIP verzija 2** – RFC 1723, 1993.
- Kompatibilan sa RIPv1
- Razlike u odnosu na RIPv1
  - „*Classless*“ – *Classless Inter-Domain Routing* (CIDR), od 1998.
    - Podrška za VLSM – maska se prenosi u ruting apdejtima
    - Komunikacija
      - *RIP Request* poruka
        - Slanje na multikast adresu – 224.0.0.9 (adresa na kojoj „slušaju“ svi RIPv2 ruteri)
      - *RIP Response* poruka
        - Slanje na unikast adresu rutera koji je poslao upit
  - Međusobna autentifikacija susednih rutera od 1997.
    - Zajednički ključ (lozinka)
    - Niz ključeva (*Key Chain*) – definisan ključ i promenljiv indeks (broj)
      - Razmenjuju se korišćenjem sigurnosne heš funkcije MD5
      - Periodična promena indeksa (novi šifrovani ključ) u toku rada

# Format RIP paketa

- *Command* – 1 za *Request*, 2 za *Response*
- *Version* – 1 za RIPv1, 2 za RIPv2
- *Address Family Identifier* – 2 za IP adrese (što se i koristi)
- *IP Address* – mrežna adresa za koju se odnose rute
  - 0.0.0.0 – sve rute, cela ruting tabela
- *Subnet mask* – samo za RIPv2, ne koristi se za RIPv1
- *Next-hop* – samo za RIPv2, ne koristi se za RIPv1
- *Metric* – broj koraka, od 1 do 16 (+1 u odnosu na vrednost iz ruting tabelu)

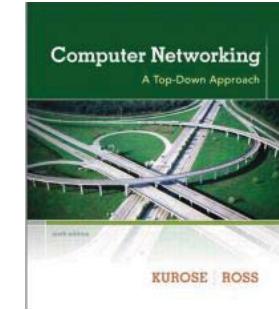
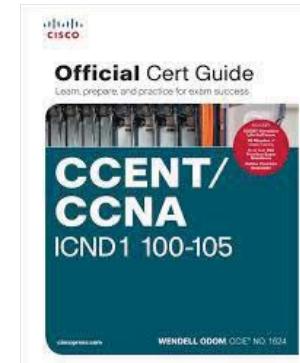


# *Distance Vector* protokoli rutiranja

- Prednosti *Distance Vector* ruting protokola
  - Jednostavna implementacija, konfigurisanje i održavanje
  - Nisu zahtevni u pogledu permormansi (CPU i memorije)
  - Malo zauzeće linka za manje mreže
- Nedostaci *Distance Vector* ruting protokola
  - Neadekvatna metrika
  - Nedovoljna skalabilnost
    - Brži mehanizam propagiranja informacija
  - Spora konvergencija, posebno za veće mreže i pored *Triggered Update* mehanizma

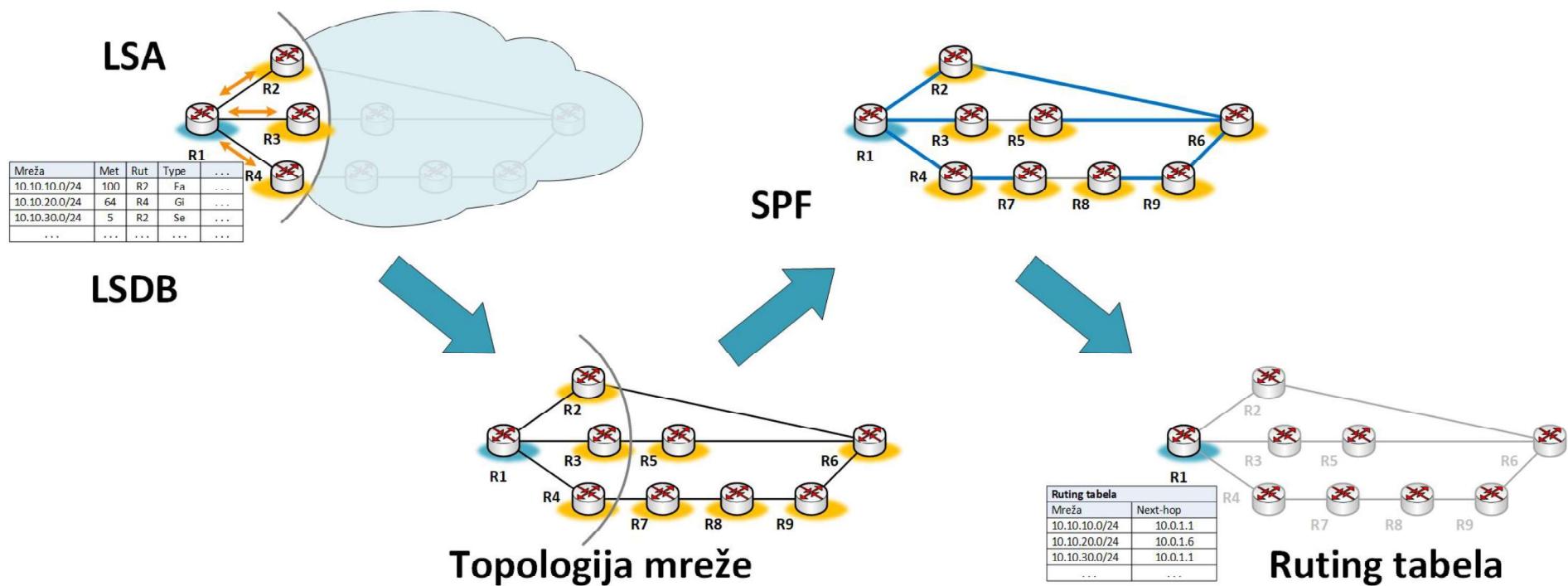
# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press
- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET



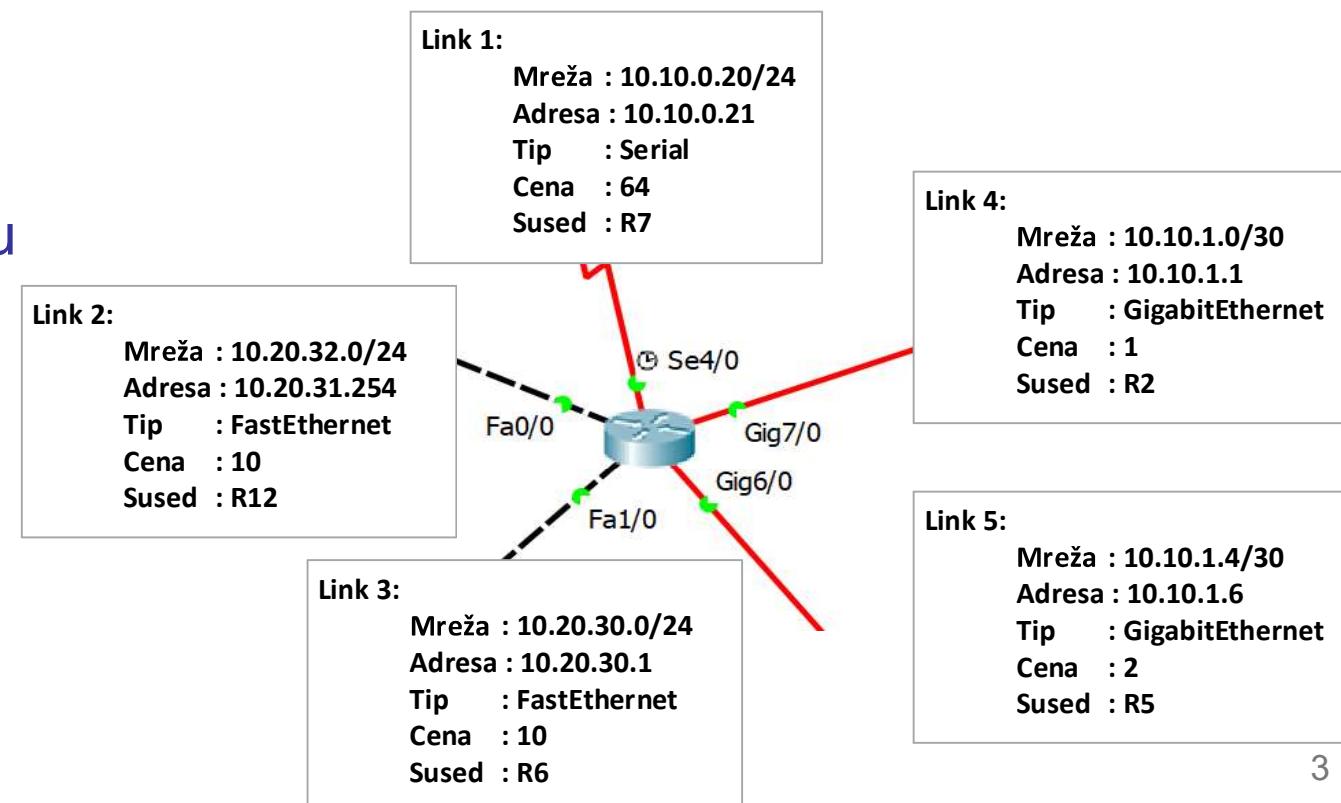
# *Link-State ruting protokoli*

- *Link-State* ruting protokoli
  - Sa susednim ruterima se razmenjuje mnogo veći skup informacija **LSA (Link-State Advertisements)**
  - Kreira se baza informacija – **LSDB (Link-State Database)**
  - Rekonstruiše se topologija mreže – graf rutera i mreža sa metrikom
  - Računa se najkraća putanja do svake mreža - **SPF (Shortest Path First)**
  - Kreira se ruting tabela



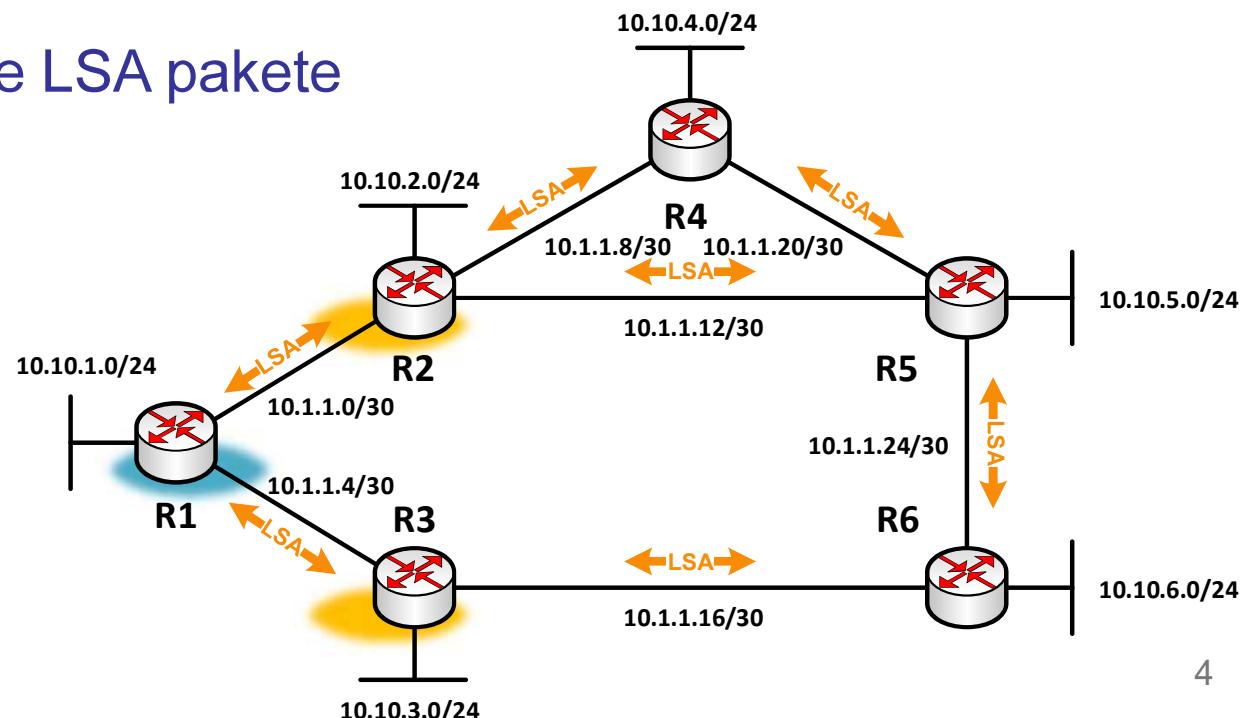
# „Link-State“

- “Link” – interfejs rutera
  - Opisuje mrežu
- “Link state” – informacije o interfejsima
  - IP adresa i maska mreže
  - IP adresa interfejsa
  - Identifikacija rutera
  - Tip interfejsa
  - Cena linka
  - Susedni ruteri na linku
  - ...



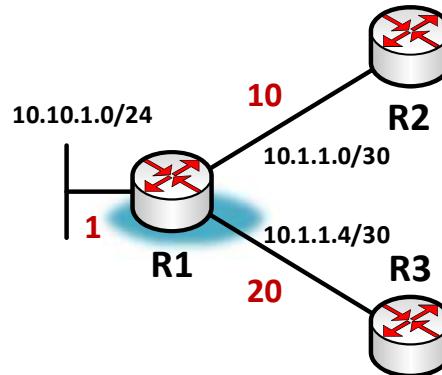
# Razmena LSA paketa

- Svaki ruter kreira sopstveni LSA paket, koji sadrži:
  - Stanje svakog direktno povezanog linka (interfejsa)
  - Informacije o susedima – ruter, tip linka, cena (*bandwidth*)
- **Flooding** - intenzivna razmena LSA
  - LSA se šalje do svakog direktnog susednog rutera
  - Ruteri prosleđuju LSA do svojih direktnih suseda
- Rezultat:
  - Svi ruteri dobijaju oglašene LSA pakete



# LSDB - *Link-State Database*

- Svaki ruter formira svoju bazu - LSDB (*Link-State Database*)
  - Sadrži LSA dobijene od svih ruta
  - Sadrži sve potrebne informacije o celoj mreži
  - Isto na svim ruterima, jer sadrže iste informacije

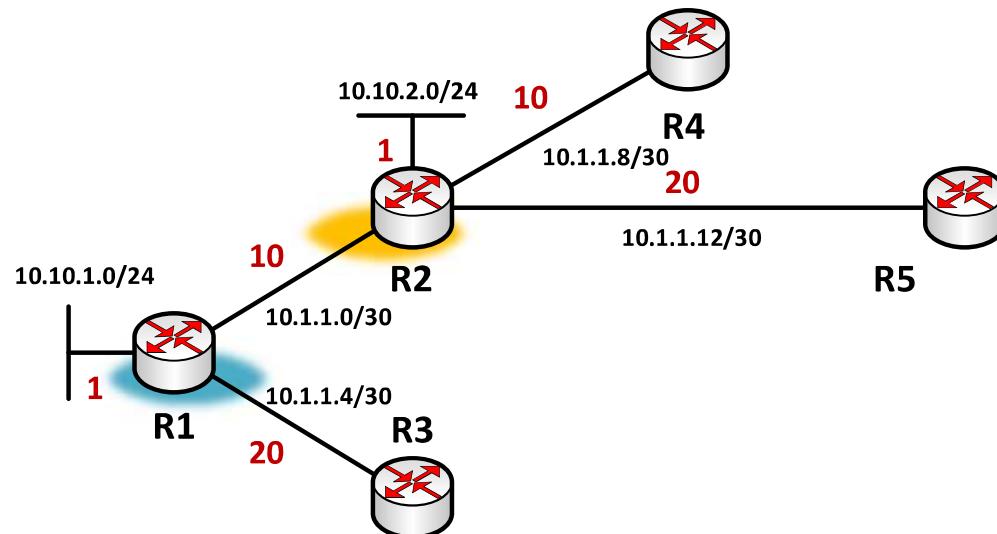


Ruter	LSA
R1	R1 --- : 10.10.1.0/24 [0]
R1	R1 --- : 10.1.1.0/30 [0]
R1	R1 --- : 10.1.1.4/30 [0]
R2	R2 --- : 10.10.2.0/24 [1]
R2	R2 => R1: 10.1.1.0/30 [10]
R2	R2 => R4: 10.1.1.8/30 [10]
R2	R2 => R5: 10.1.1.12/30 [20]
R3	R3 --- : 10.10.3.0/24 [1]
R3	R3 => R1: 10.1.1.4/30 [20]
R3	R3 => R6: 10.1.1.16/30 [25]
R4	R4 --- : 10.10.4.0/24 [1]
R4	R4 => R2: 10.1.1.8/30 [10]
R4	R4 => R5: 10.1.1.20/30 [5]
R5	R5 --- : 10.10.5.0/24 [1]
R5	R5 => R2: 10.1.1.12/30 [20]
R5	R5 => R4: 10.1.1.20/30 [5]
R5	R5 => R6: 10.1.1.24/30 [10]
R6	R6 --- : 10.10.6.0/24 [1]
R6	R6 => R3: 10.1.1.16/30 [25]
R6	R6 => R5: 10.1.1.24/10 [10]

# Formiranje topologije

- LSDB na ruteru R1
  - LSA sa ruterom R2

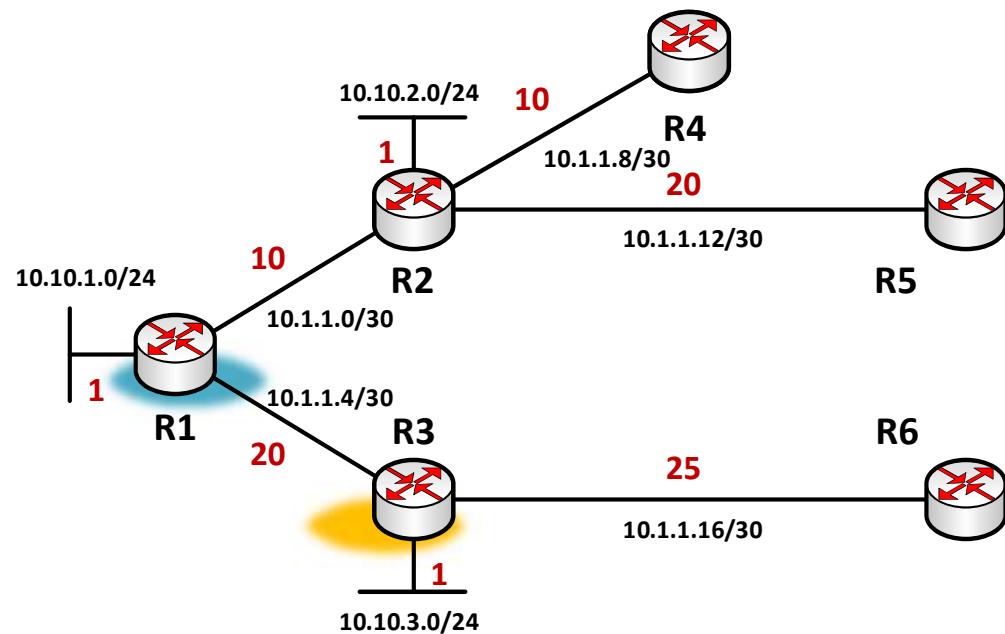
Ruter	LSA
...	...
R2	R2 --- : 10.10.2.0/24 [1]
R2	R2 => R1: 10.1.1.0/30 [10]
R2	R2 => R4: 10.1.1.8/30 [10]
R2	R2 => R5: 10.1.1.12/30 [20]
...	...



# Formiranje topologije

- LSDB na ruteru R1
  - LSA sa ruterom R3

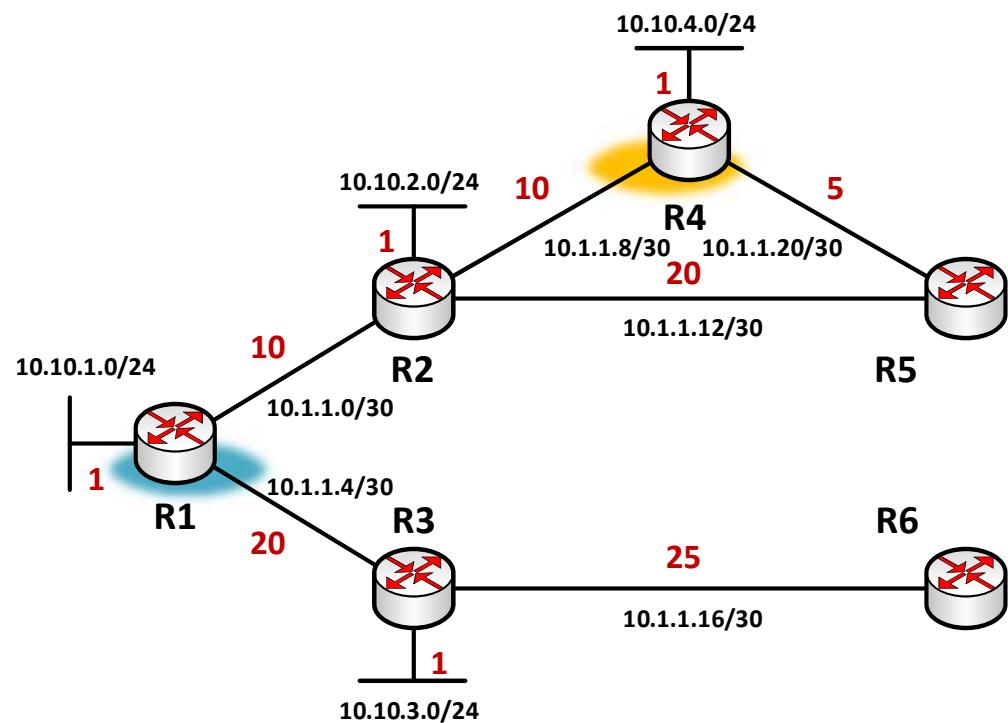
Ruter	LSA
...	...
R3	R3 --- : 10.10.3.0/24 [1]
R3	R3 => R1: 10.1.1.4/30 [20]
R3	R3 => R6: 10.1.1.16/30 [25]
...	...



# Formiranje topologije

- LSDB na ruteru R1
  - LSA sa ruterom R4

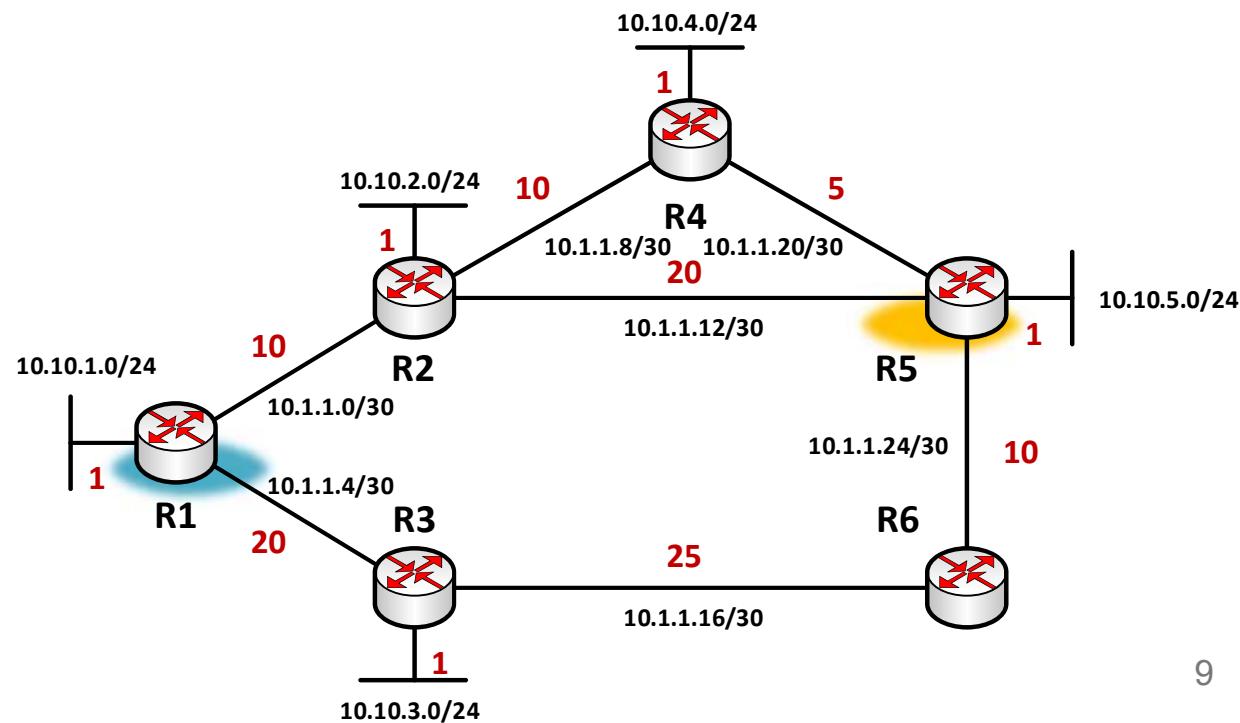
Ruter	LSA
...	...
R4	R4 --- : 10.10.4.0/24 [1]
R4	R4 => R2: 10.1.1.8/30 [10]
R4	R4 => R5: 10.1.1.20/30 [5]
...	...



# Formiranje topologije

- LSDB na ruteru R1
  - LSA sa ruterom R5

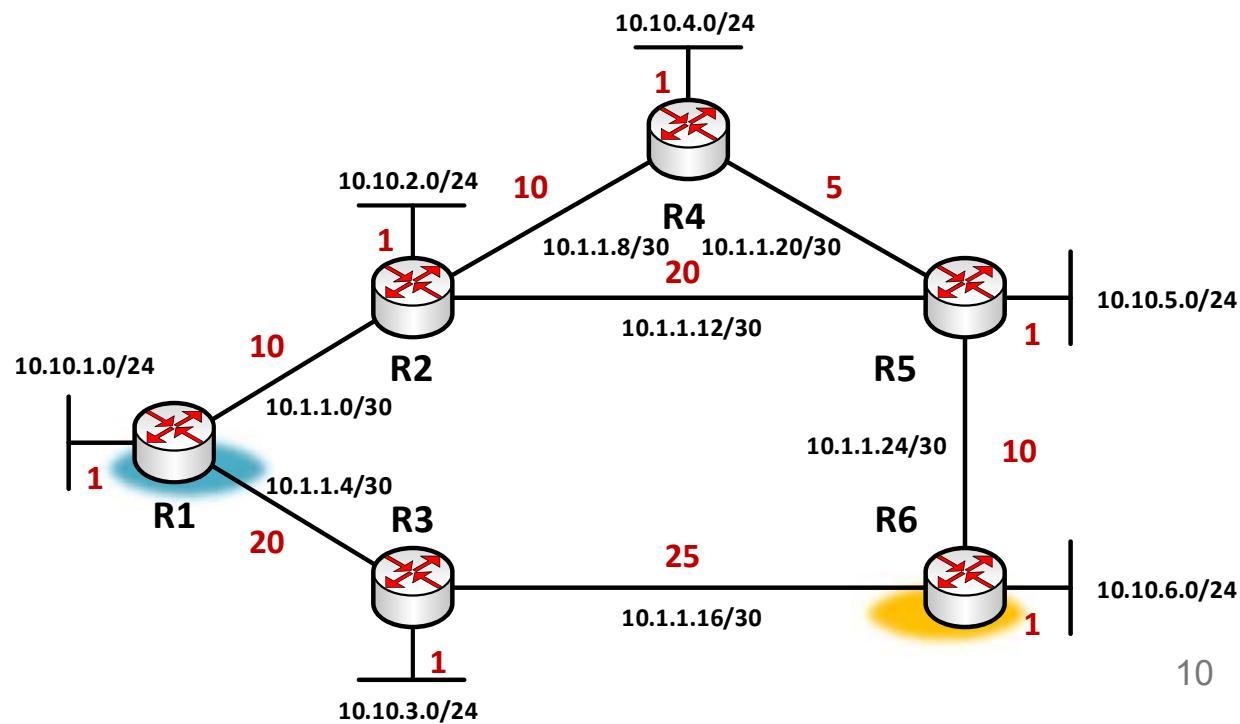
Ruter	LSA
...	...
R5	R5 --- : 10.10.5.0/24 [1]
R5	R5 => R2: 10.1.1.12/30 [20]
R5	R5 => R4: 10.1.1.20/30 [5]
R5	R5 => R6: 10.1.1.24/30 [10]
...	...



# Formiranje topologije

- LSDB na ruteru R1
  - LSA sa ruterom R6

...	...
R6	R6 --- : 10.10.6.0/24 [1]
R6	R6 => R3: 10.1.1.16/30 [25]
R6	R6 => R5: 10.1.1.24/10 [10]
...	...



# Nalaženje najkraćeg puta - SPF

- **SPF - Shortest Path First**

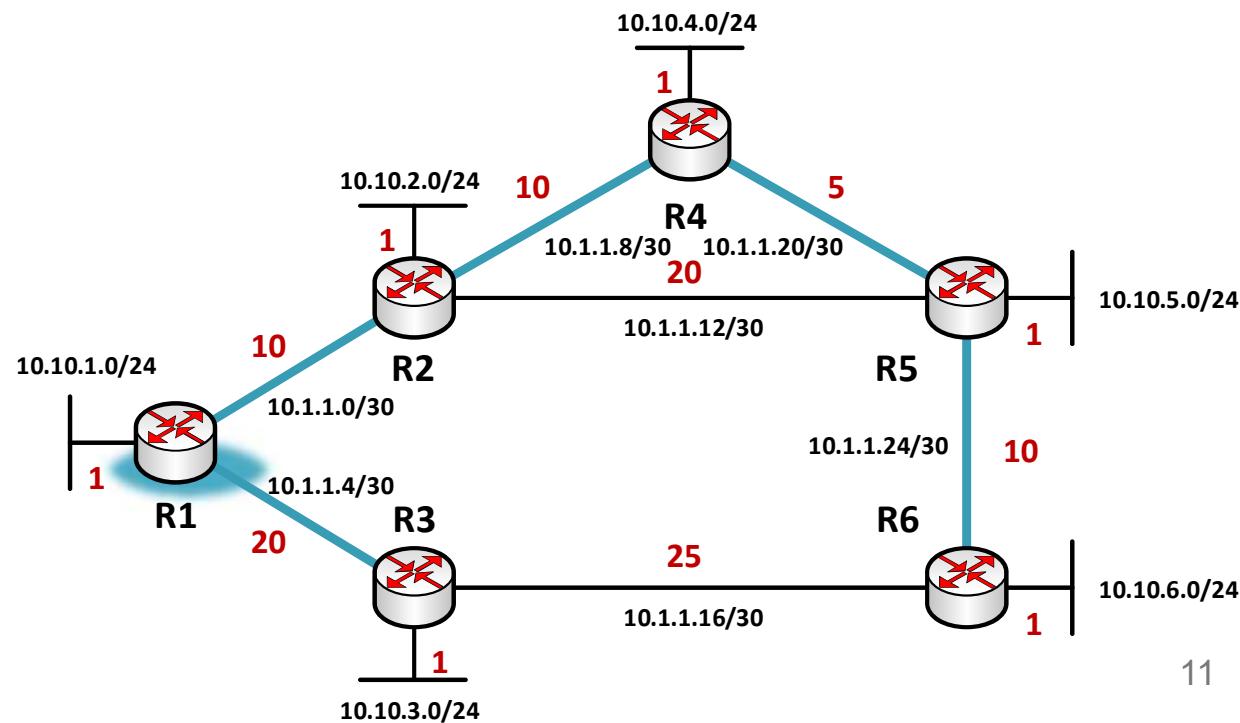
- **Graf**

- Ruteri u čvorovima, cena pridružene granama
- IP mreže – grane (linkovi) i čvorovi (LAN mreže)

- **Dijkstra algoritam**

- 1959, *Edsger W. Dijkstra* – holandski softver inženjer
- Iz svakog rutera - nalaženje najkraće putanje do svake IP mreže (najjeftinije putanje)
- Složenost –  $O(n \ Log(n))$

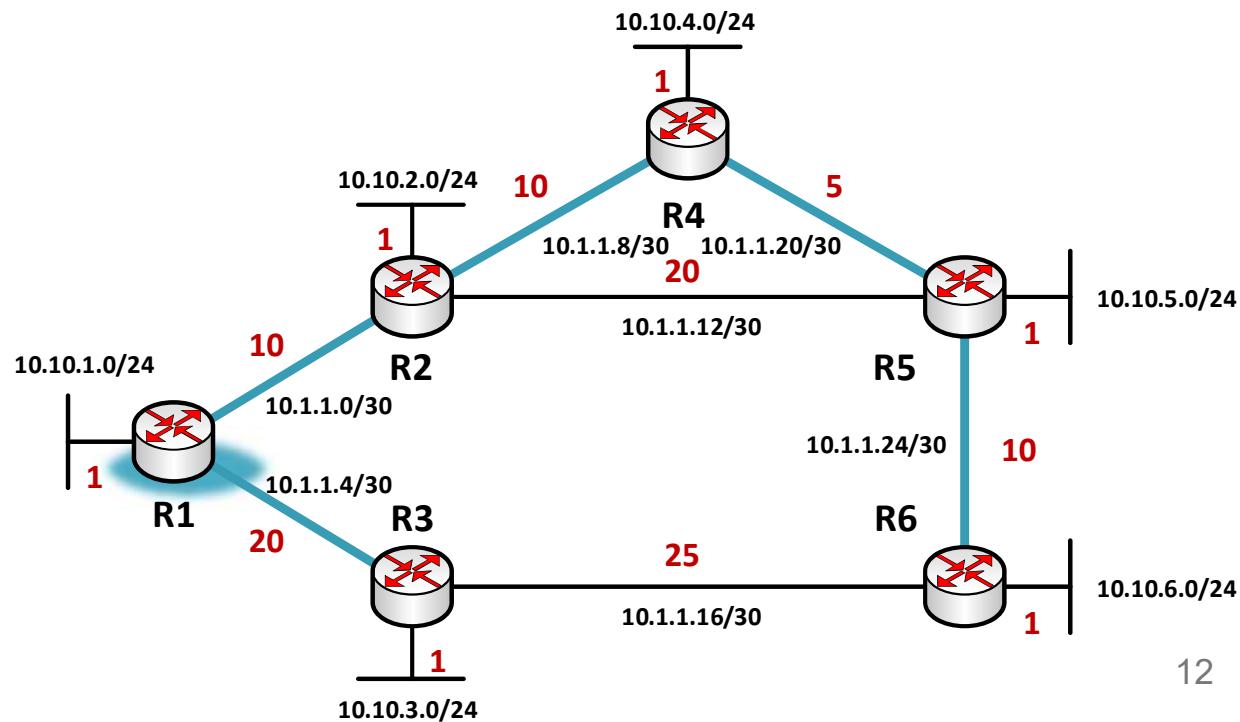
R1: SPF		
10.1.1.4/30	con.	[0]
10.1.1.0/30	con.	[0]
10.1.1.4/30	con.	[0]
10.10.2.0/24	=> R2	[11]
10.1.1.8/30	=> R2	[20]
10.1.1.12/30	=> R2	[10]
10.10.3.0/24	=> R3	[21]
10.1.1.16/30	=> R3	[45]
10.10.4.0/24	=> R2	[21]
10.1.1.20/30	=> R2	[25]
10.10.5.0/24	=> R2	[26]
10.1.1.24/30	=> R2	[35]
10.10.6.0/24	=> R2	[36]



# Generisanje ruting tabele

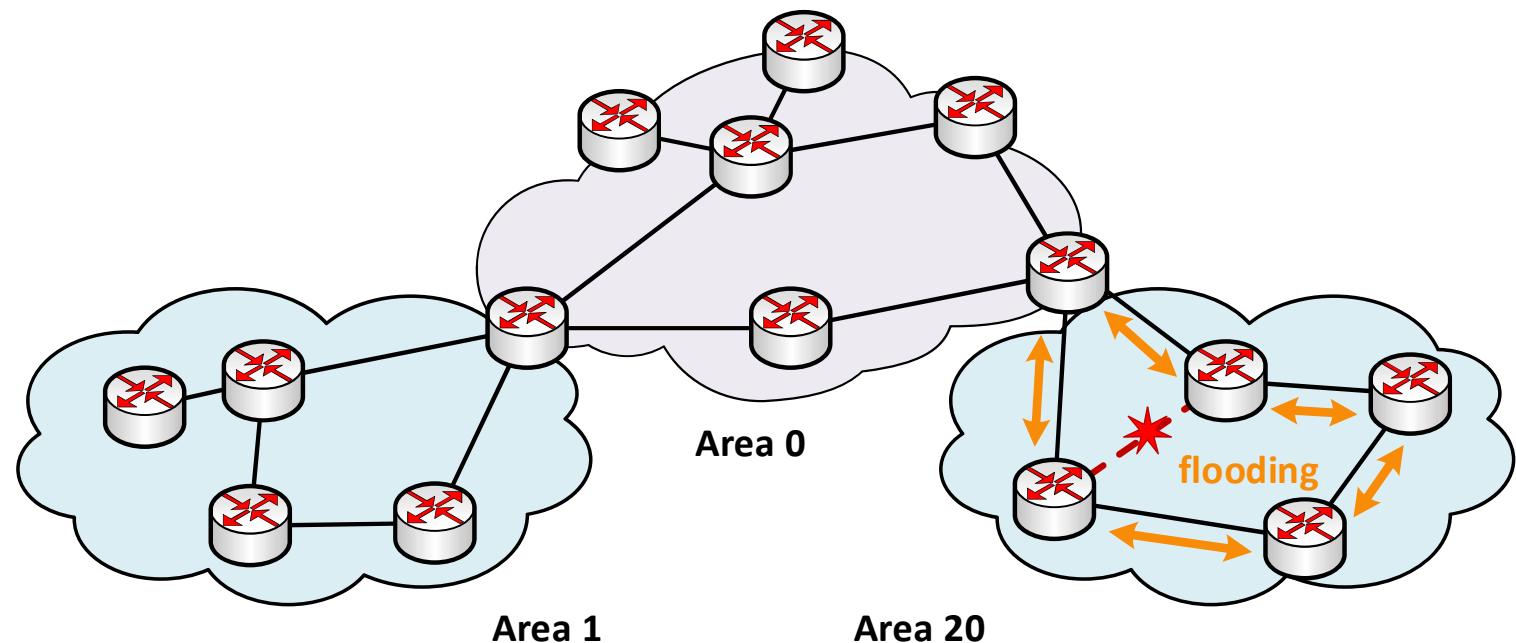
- Ruting tabela – na osnovu rezultata SFP algoritma
  - Za svaku IP mrežu dobija se *next-hop* i cena
  - Za više putanja sa istom cenom
    - Više *next-hop* adresa se upisuje u ruting tabelu – balansiranje saobraćaja
- Svaki ruter ima različitu ruting tabelu

R1: Ruting tabela		
Mreža	Next-hop	Met
10.1.1.4/30	Connected	[0]
10.1.1.0/30	Connected	[0]
10.1.1.4/30	Connected	[0]
10.10.2.0/24	10.1.1.2	[11]
10.1.1.8/30	10.1.1.2	[20]
10.1.1.12/30	10.1.1.2	[10]
10.10.3.0/24	10.1.1.6	[21]
10.1.1.16/30	10.1.1.6	[45]
10.10.4.0/24	10.1.1.2	[21]
10.1.1.20/30	10.1.1.2	[25]
10.10.5.0/24	10.1.1.2	[26]
10.1.1.24/30	10.1.1.2	[35]
10.10.6.0/24	10.1.1.2	[36]



# Skalabilnost

- Grupisanje rutora i IP mreža u pojedinačne oblasti - **Area**
- Pad linka u jednoj oblasti
  - Flooding se sprovodi samo u toj oblasti
  - Ne izaziva se konvergencija u ostalim oblastima
- Veća skalabilnost



# Osobine

- Brza konvergencija:
  - *Flooding* – intenzivno slanje LSA kroz mrežu
    - Inicialno po uključivanju rutera
    - Prilikom promene topologije – pad postojećih ili uključenje novih veza
  - Svi ruteri saznaju istu topologiju mreže, iz čega kreiraju različita stabla najkraćih puteva, a zatim i različite ruting tabele
- Opterećenje pri konvergenciji:
  - Zahtevaju više memorije
    - Koriste više informacija
  - Zahtevaju više CPU vremena
    - Računanje najkraćih puteva (*Dijkstra* algoritam)
    - Zahtevaju više propusnog opsega – zbog *flooding*-a
- Opterećenje u stabilnom stanju
  - Nisu zahtevni, prenose se poruke za održavanje susedstva (*keepalive*)

# Vrste *Link-State* ruting protokola

- Dve osnovne vrste *Link-State* ruting protokola:
  - *Open Shortest Path First* (OSPF)
    - IETF standard
    - Administrativna distanca 110
  - *Intermediate System-Intermediate System* (IS-IS)
    - ISO standard
    - Administrativna distanca 115

# OSPF - Open Shortest Path First

- OSPF istorijat
  - 1991, RFC 1247
  - 1998, RFC 2328, OSPFv2, aktuelna verzija
- OSPF poruke
  - 5 različitih vrsta
    - *Hello* – uspostavljanje susedstva
    - *DBD* – *Database Description*
    - *LSR*, *LSU*, *LSAck* – *Link-State Request / Update / Acknowledgement*
  - Enkapsuliraju se u IP pakete
- Na IP nivou:
  - Identifikacija protokola (*protocol type*): 89
  - Multikast odredišna adresa
    - 224.0.0.5 – „*AllSPFRouters*“
    - 224.0.0.6 – „*AllDRouters*“

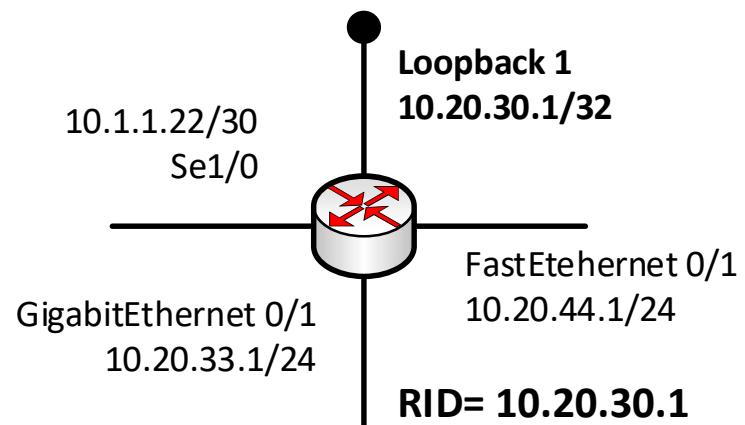
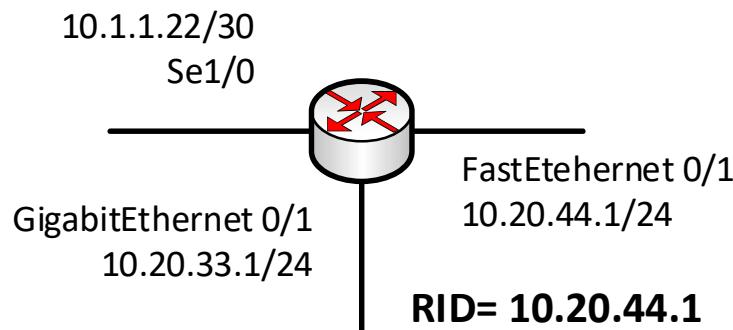


# Hello protokol

- Protokol za uspostavljanje susedstva (deo OSPF protokola)
  - Razmena *Hello* poruka
- Uslov za uspostavljanje susedstva (*neighbors*) – isti parametri na oba ruter:
  - Ista IP mrežna adresa (povezani na istu IP mrežu)
  - **Hello interval** – period oglašavanja *Hello* poruka
    - 10 sek na serijskim i *broadcast multi-access* vezama (Ethernet)
  - **Dead interval** – vreme prekida susedstva - izostaju *Hello* poruke
    - $4 \times \text{Hello interval}$
  - **Area ID** – broj oblasti (pripadaju istoj oblasti)
  - Autentifikacija (ako se koristi)
  - Ostali parametri
    - „*Stab area flag*“

# Identifikacija rутera

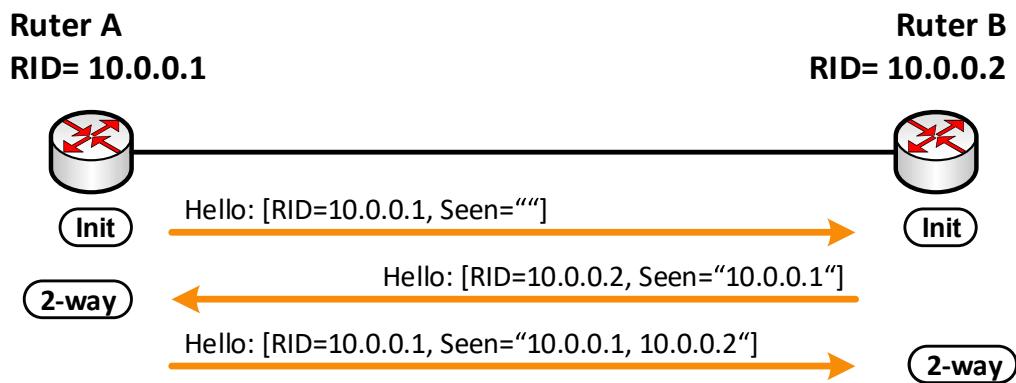
- *Loopback* interfejs
  - Logički interfejs
  - Sadrži proizvoljnu IP adresu i masku (maska može da bude „/32“ !)
  - Uvek je aktivan (dostupan, „podignut“ – „up“ stanje)
    - Zgodan za pristup ruteru (ping, logovanje itd.)
  - Učestvuje u oglašavanju kroz ruting protokole



- **RID (Router ID)**  
jedinstveni identifikator rутera na nivou OSPF protokola
  - Najveća IP adresa fizičkog interfejsa, ako nije definisan *loopback* interfejs
  - Najveća IP adresa *loopback* interfejsa, ako postoji

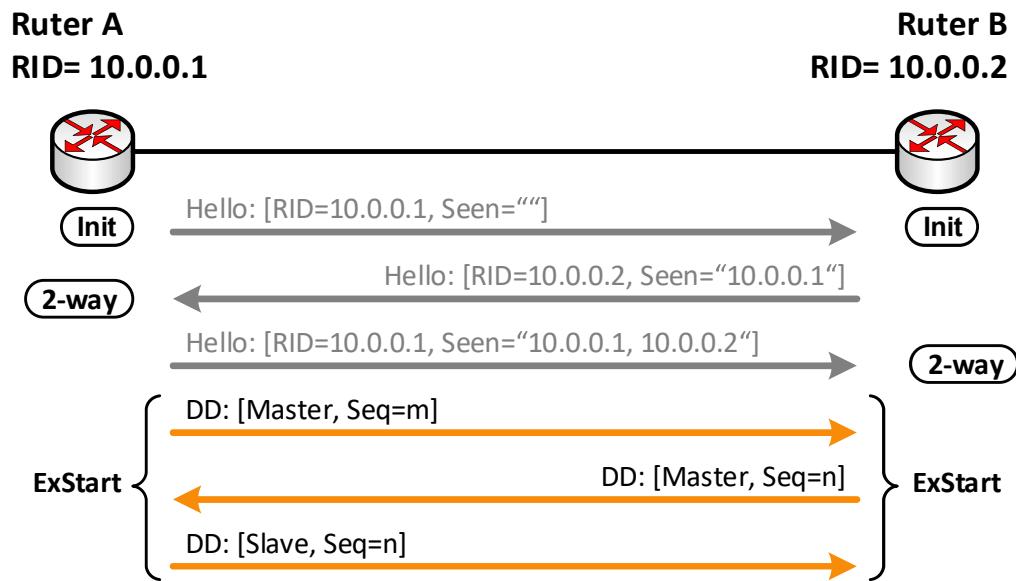
# Hello - Uspostavljanje susedstva

- Obostrano uspostavljanja susedstva putem *Hello* protokola
- Prolazi se kroz sledeća stanja:
  - **Down** – početno stanje
  - **Init** – nakon podizanja interfejsa, spremni za slanje *Hello* poruka
  - **2-way** – uspostavljeno susedstvo, uz sledeće uslove:
    - Prepoznaje se RID u „Seen“ polju koje sadrži sve do tada otkrivane susedne rute na tom segmentu
    - Usaglašeni su svi obvezni parametri
- Dalji proces:
  - Ruteri mogu da ostanu u „2-way“stanju, tzv. *Neighbour* – fizički susedi, ne i OSPF susedi
  - Ruteri mogu da nastave razmenu informacija, tzv. *Adjacency* – OSPF susedi



# *ExStart* - Priprema za razmenu

- ***ExStart* proces**
- Dogovor ko je *Master*, a ko *Slave*
  - *Master* – veći RID
- Inicijalizuje se redni broj paketa tzv. *Sequence Number (Seq)*
- Primer
  - Ruter A predlaže da bude *Master* i postavlja *Seq*
  - Ruter B ima veći RID, postaje *Master* i zadaje *Seq*
  - Ruter A je *Slave* i prihvata *Seq*



# Exchange – razmena deskriptora

- **Exchange** proces

Razmenjuju se LSA podaci iz LSDB tabela

- Cilj je utvrditi šta nedostaje

- *Master* počinje komunikaciju

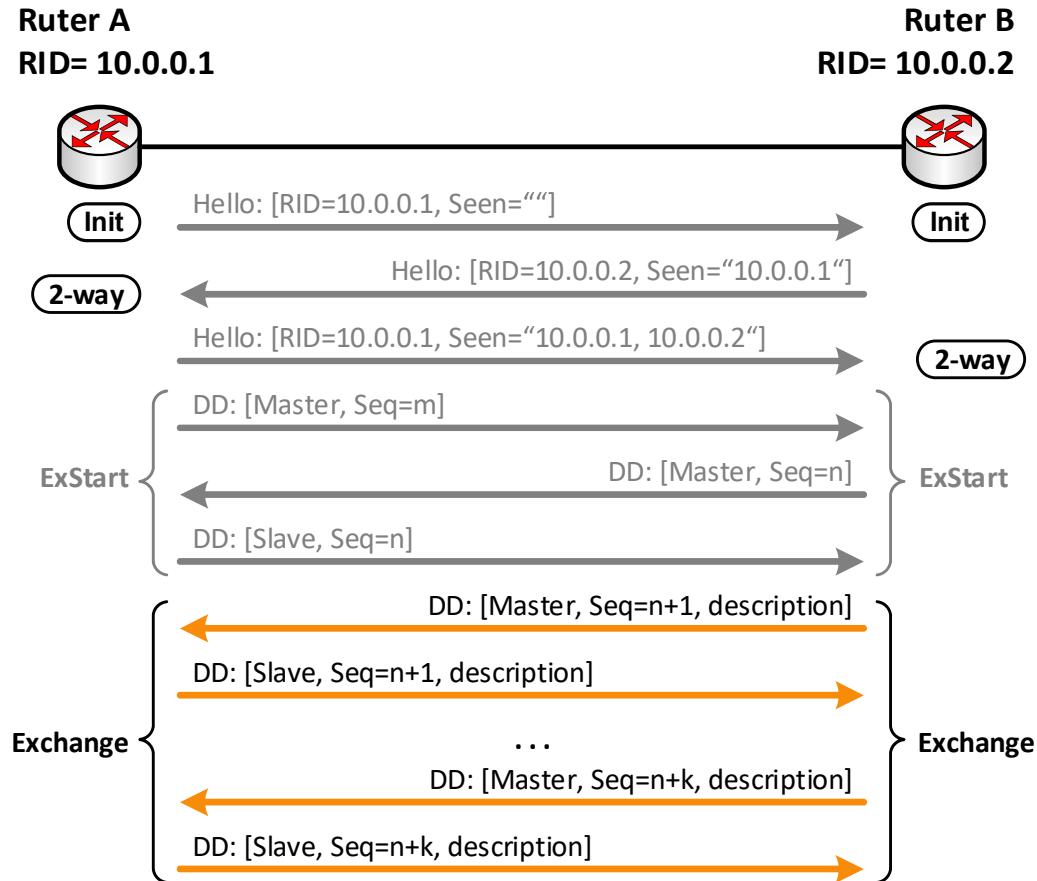
- Šalju se *Database Description* (DD) paketi

- Samo opis podataka, bez potpunih informacija

- *Seq* se povećava – identificuje poslate pakete

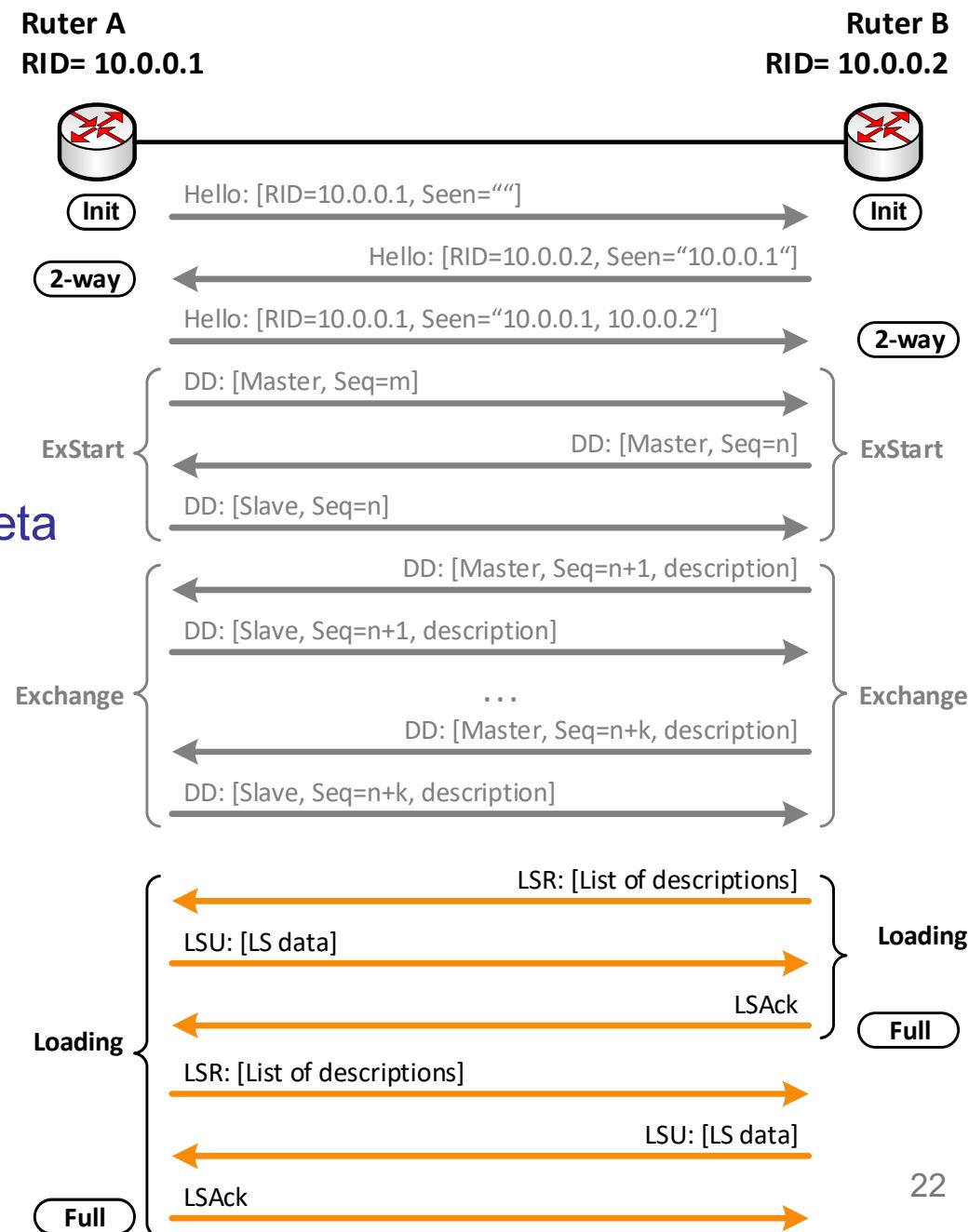
- Prati se da li se izgubio neki paket

- Ako se neki paket izgubi - retransmisija



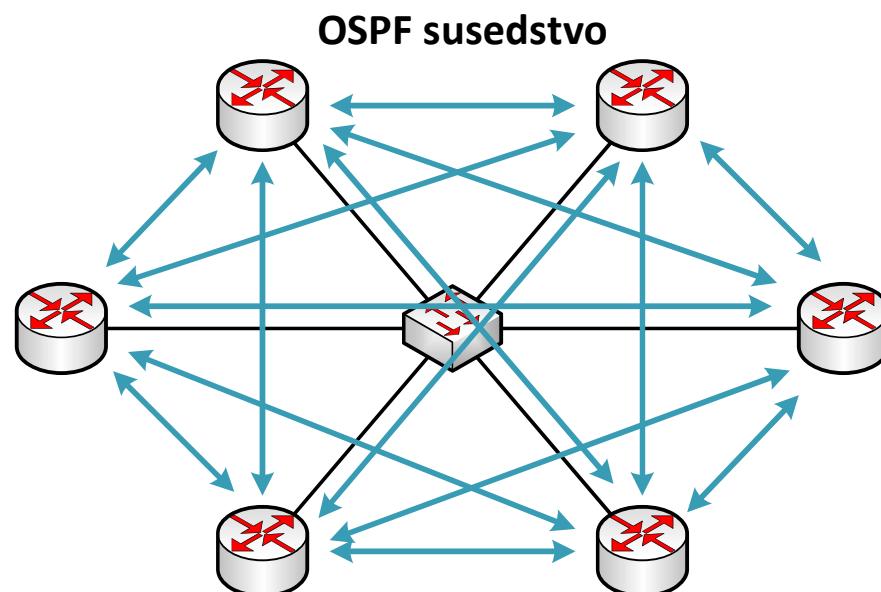
# *Loading* – Razmena podataka

- ***Loading*** proces razmena svih nedostajućih podataka
  - **LSR – *Link State Request***
    - Master navodi listu deskriptora nedostajućih podataka
  - **LSU – *Link State Update***
    - Slave odgovara sa jednim ili više paketa koji sadrže sve nedostajuće podatke
  - **LSAck – *Link State Acknowledgement***
    - Potvrda prijema podataka
  - ***Full*** - završno stanje
    - LSDB tabele su sinhronizovane



# Susedstvo u Ethernet mreži

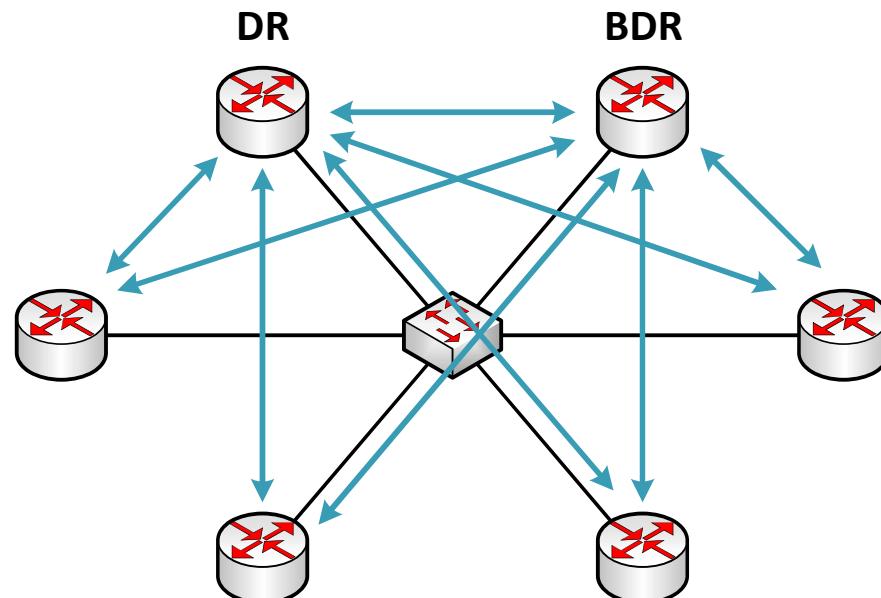
- Ethernet – mreža *multiaccess* tipa
  - Može da bude povezano više ruter
- Razmena *Hello* poruka
  - Svako-sa-svakim?
- Problemi:
  - Skalabilnost - broj veza raste sa kvadratom broja ruter -  $n(n-1)/2$
  - Intenzivna komunikacija - *flooding*



Broj ruter	Broj veza
2	1
5	10
10	45
20	190
100	4950

# Susedstvo u Ethernet mreži

- Treba izbeći direktno susedstvo (*adjacency*) svako-sa-svakim!
- Rešenje:
  - **DR - Designated Router** - centralni ruter pri uspostavljanju susedstva
  - **BDR – Backup Designated Router** – rezervni centralni ruter
  - Ostali ruteri se označavaju sa **DROthers**
  - Jedino DR i BDR uspostavljaju direktno susedstvo sa ostalim ruterima - manji broj suseda (*adjacency*)
  - Razmena SLA se sprovodi preko DR

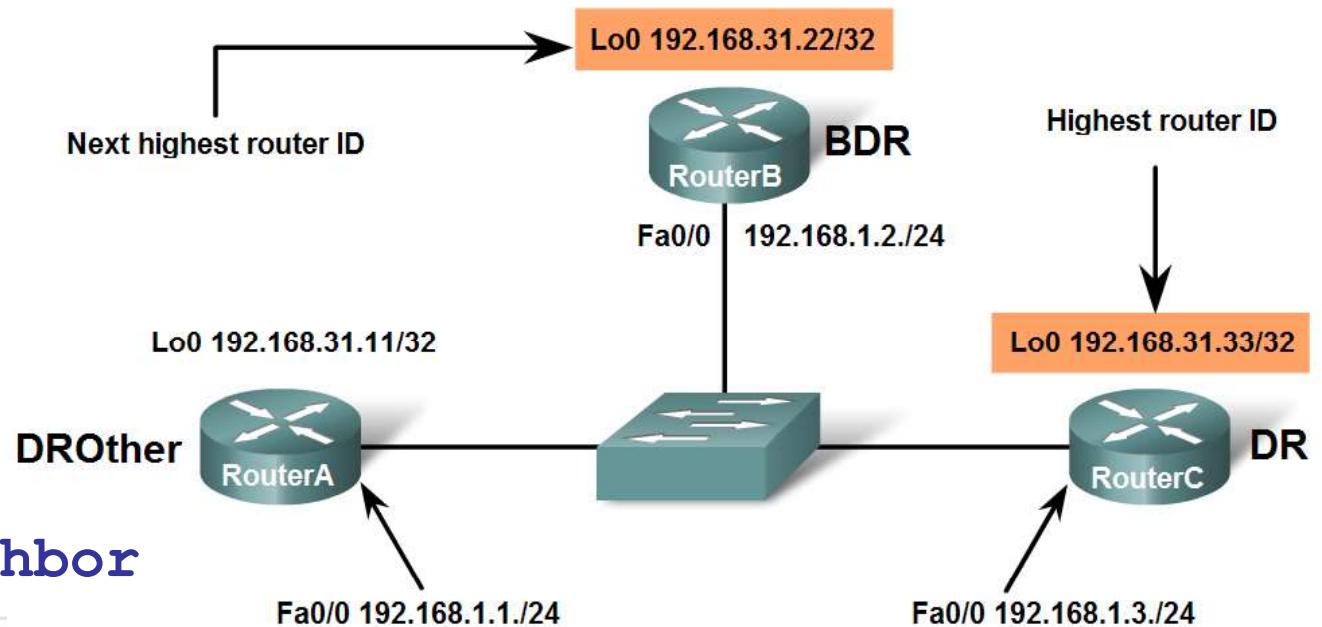


# Izbor DR i BDR u Ethernet mreži

- “Prioritet” – prioritet pri izboru DR i BDR
  - Dodeljuje se interfejsu rutera
  - Broj od 0 do 255
  - **Veća vrednost označava veći prioritet**
  - Vrednost 0 označava da ruter ne učestvuje u izboru za DR i BDR
  - Sadržan u *Hello* porukama
- Pravila izbora DR i BDR
  - Ruter sa najvećim prioritetom postaje DR
  - Ruter sa sledećim najvećim prioritetom postaje BDR
  - Ako su prioriteti isti, gleda se najveći RID za izbor DR i BDR

# Izbor DR i BDR u Ethernet mreži

Primer:



komanda

**show ip ospf neighbor**

```
RouterA#show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.31.33	1	FULL/DR	00:00:39	192.168.1.3	FastEthernet0/0
192.168.31.22	1	FULL/BDR	00:00:36	192.168.1.2	FastEthernet0/0

```
RouterB#show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.31.33	1	FULL/DR	00:00:34	192.168.1.3	FastEthernet0/0
192.168.31.11	1	FULL/DROTHER	00:00:38	192.168.1.1	FastEthernet0/0

```
RouterC#show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.31.22	1	FULL/BDR	00:00:35	192.168.1.2	FastEthernet0/0
192.168.31.11	1	FULL/DROTHER	00:00:32	192.168.1.1	FastEthernet0/0

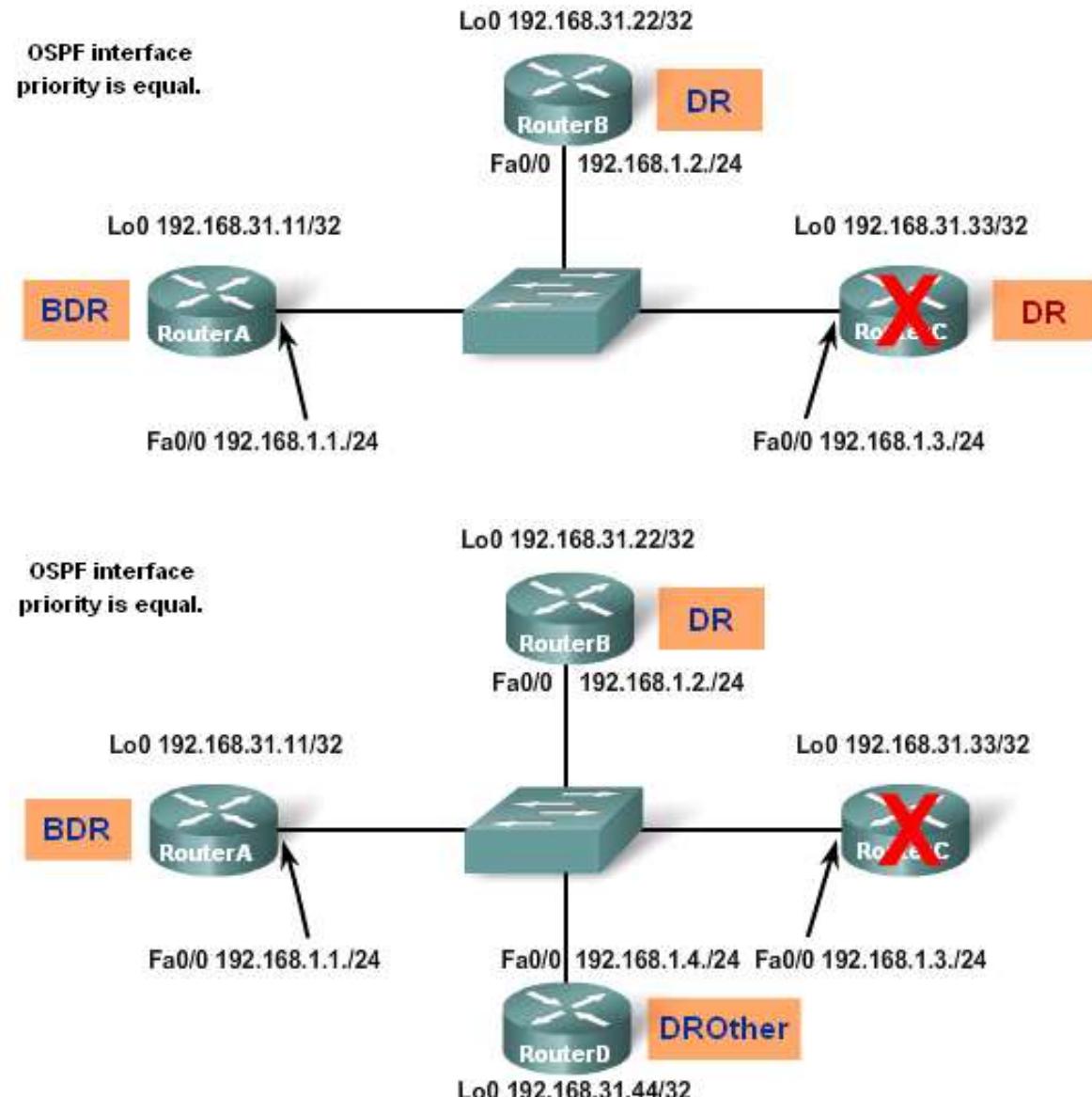
# Izbor DR i BDR u Ethernet mreži

- Novododati ruteri neće izazvati promenu DR i BDR, bez obzira na njihove prioritete ili IP adrese
  - Da bi se smanjio *flooding* prema ostalim ruterima
- DR i BDR će izgubiti ove funkcije jedino u sledećim slučajevima:
  - Kada ruter prestane da radi
  - Interfejs rутera prestane da radi
  - OSPF na ruteru prestane da radi
- DR i BDR treba da budu ruteri većih performansi – kako uticati?
  - Bitan je redosled uključivanja ruteru

# Izbor DR i BDR u Ethernet mreži

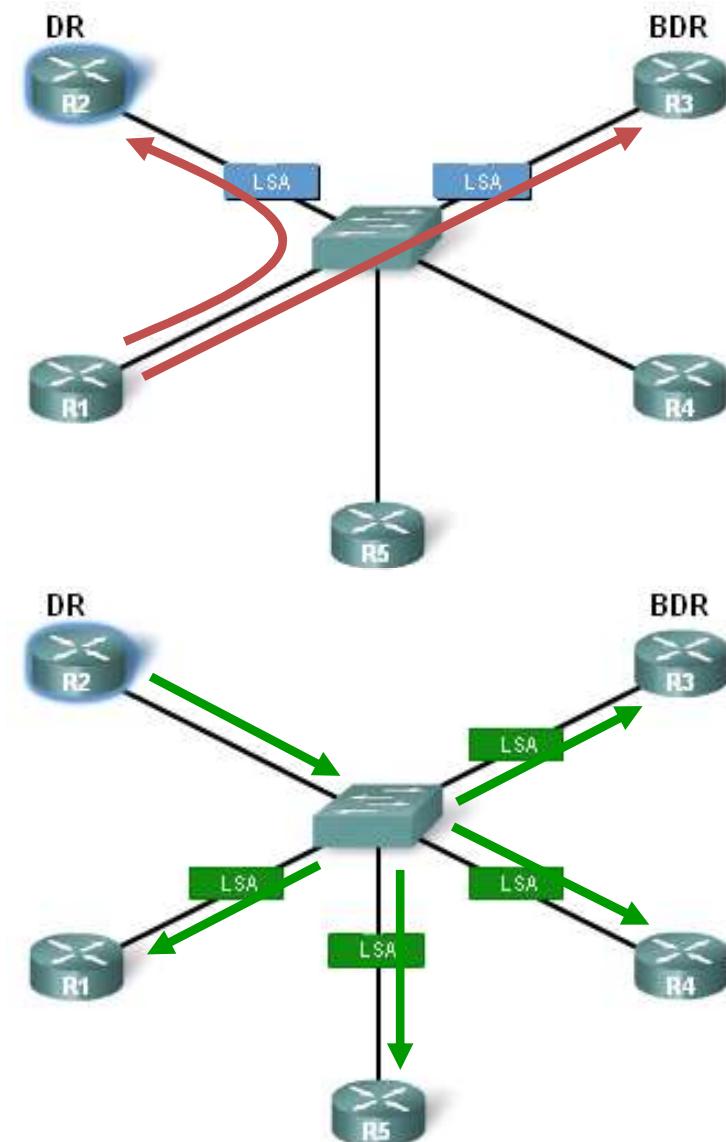
Primer:

- Inicijalno stanje, svi ruteri imaju iste prioritete: DR – C, BDR – B
- Ruter C se isključuje: DR – B, BDR – A
- Dodaje se ruter D sa najvećom IP adresom: DR – B, BDR – A
- Ruter C se ponovo uključuje (nije prikazano): DR – B, BDR – A
- Ako padne ruter A, BDR postaje ruter D



# Prenos SLA u Ethernet mreži

- DROthers ruteri šalju LSA na multikast adresu 224.0.0.6 (*AllDRouters*)
  - DR i BDR ruteri “slušaju” saobraćaj na *AllDRouters* multikast adresi i primaju LSA
- 
- Samo DR (ne i BDR) prosleđuje LSA paket na multikast adresu 224.0.0.5 (*AllSPFRouters*)
  - Svi OSPF ruteri “slušaju” saobraćaj na *AllSPFRouters* multikast adresi i primaju LSA



# OSPF metrika

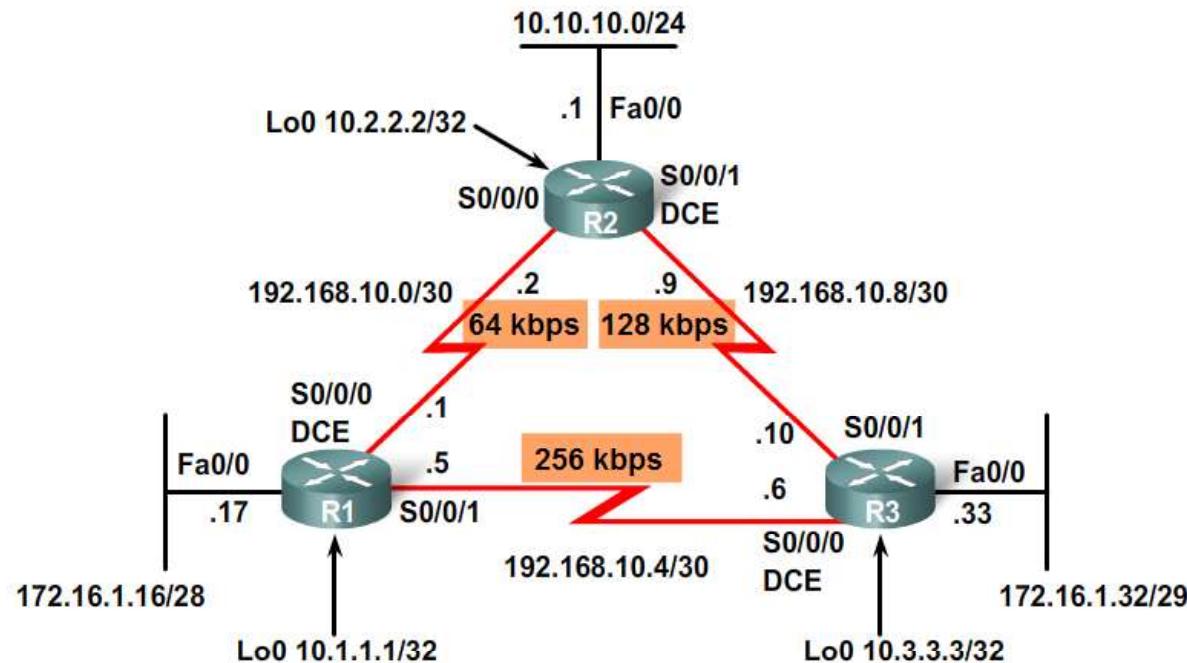
- Cena (Cost)
  - Izvedena iz propusnog opsega veze - *bandwidth*  
**cena =  $10^8 / bandwidth$**
  - Manja cena, veći prioritet
  - Propusni opseg se definiše na interfejsu rutera
    - Ne utiče na stvarnu brzinu veze
    - Služi samo za određivanje cene veze

Interface Type	$10^8/\text{bps} = \text{Cost}$
Fast Ethernet and faster	$10^8/100,000,000 \text{ bps} = 1$
Ethernet	$10^8/10,000,000 \text{ bps} = 10$
E1	$10^8/2,048,000 \text{ bps} = 48$
T1	$10^8/1,544,000 \text{ bps} = 64$
128 kbps	$10^8/128,000 \text{ bps} = 781$
64 kbps	$10^8/64,000 \text{ bps} = 1562$
56 kbps	$10^8/56,000 \text{ bps} = 1785$

# OSPF metrika

- Predefinisana vrednost za serijske interfejse je 1544 kbps (T1 linija) nezavisno od toga na kojoj brzini je veza uspostavljena

Differences Between Default and Actual Bandwidth



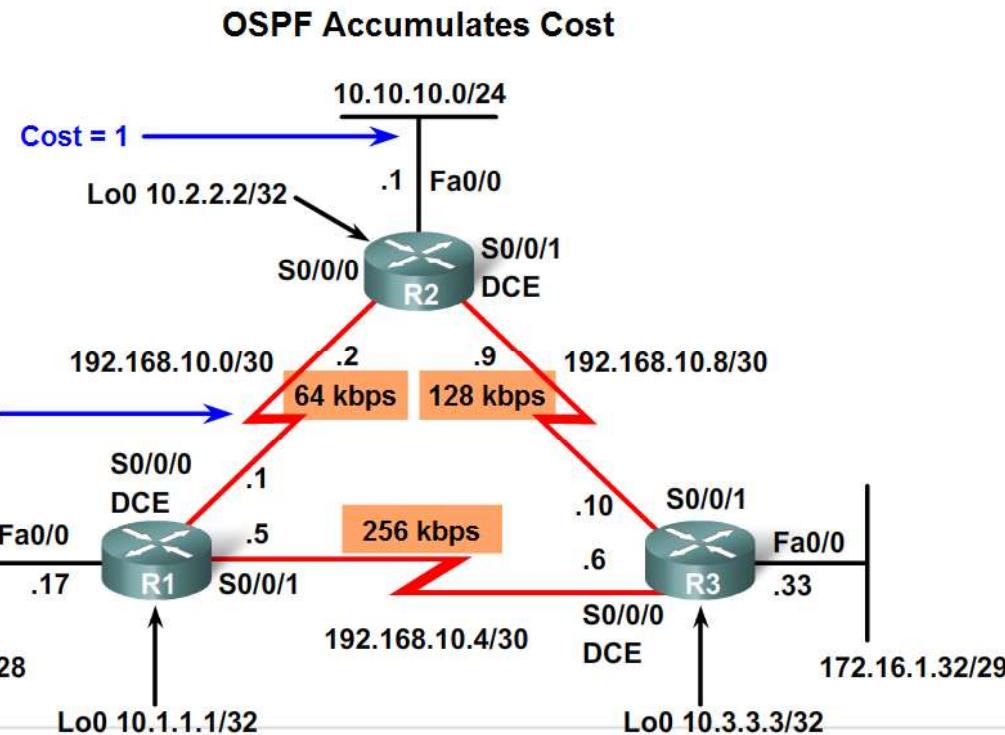
```
R1#show interface serial 0/0/0
Serial0/0/0 is up, line protocol is up
  Hardware is GT96K Serial
  Description: Link to R2
  Internet address is 192.168.10.1/30
  MTU 1500 bytes, BW 1544 Kbit, DL 20000 usec,
    reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
```

**Default Bandwidth = 1544 kbps**  
**Actual Bandwidth = 64 kbps**

# OSPF metrika

- Cena putanje do mreže – kumulativna cena svih linkova na putanji
- Imamo neoptimalno rutiranje ako ne postavimo stvarnu metriku

Interface Type	$10^8/\text{bps} = \text{Cost}$
Fast Ethernet and faster	$10^8/100,000,000 \text{ bps} = 1$
Ethernet	$10^8/10,000,000 \text{ bps} = 10$
E1	$10^8/2,048,000 \text{ bps} = 48$
T1	$10^8/1,544,000 \text{ bps} = 64$
128 kbps	$10^8/128,000 \text{ bps} = 781$
64 kbps	$10^8/64,000 \text{ bps} = 1562$
56 kbps	$10^8/56,000 \text{ bps} = 1785$



```
R1#show ip route
Codes: <some code output omitted>
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area

<route output omitted.
O      10.10.10.0/24 [110/65] via 192.168.10.2, 14:27:57, Serial0/0/0
```

Accumulated Cost = 65

# OSPF metrika

- Uspostavljanje željene metrike u OSPF mreži:
  - Definisanje stvarne brzine na interfejsima

```
R1(config)#inter serial 0/0/0
R1(config-if)#bandwidth 64
R1(config-if)#inter serial 0/0/1
R1(config-if)#bandwidth 256
R1(config-if)#end
R1#show ip ospf interface serial 0/0/0
Serial0/0 is up, line protocol is up
  Internet Address 192.168.10.1/30, Area 0
  Process ID 1, Router ID 10.1.1.1, Network Type POINT_TO_POINT, Cost: 1562
  Transmit Delay is 1 sec, State POINT_TO_POINT,
<output omitted>
```

$10^8 / 64,000 \text{ bps} = 1562$

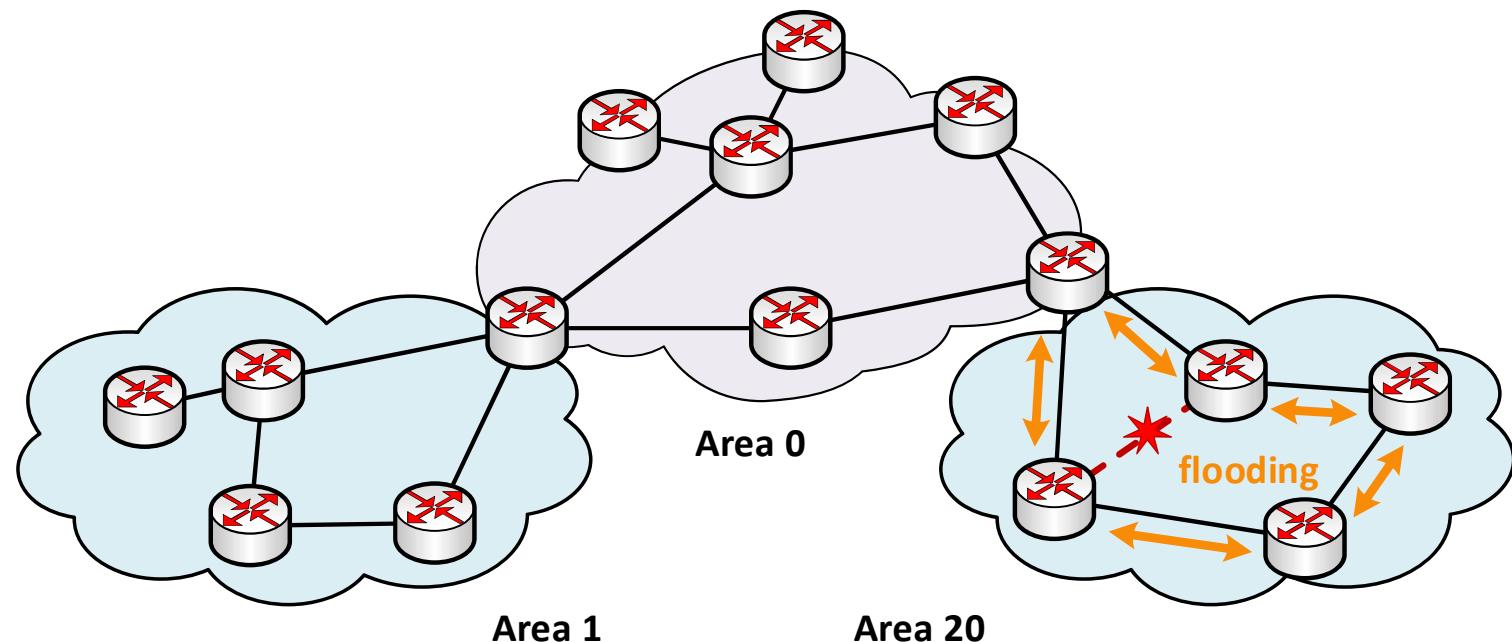
- Definisanje konkretne cene na interfejsima

```
R1(config)#inter serial 0/0/0
R1(config-if)#ip ospf cost 1562
R1(config-if)#end
R1#show ip ospf interface serial 0/0/0
Serial0/0 is up, line protocol is up
  Internet Address 192.168.10.1/30, Area 0
  Process ID 1, Router ID 10.1.1.1, Network Type POINT_TO_POINT, Cost: 1562
  Transmit Delay is 1 sec, State POINT_TO_POINT,
<output omitted>
```

No Calculation Needed

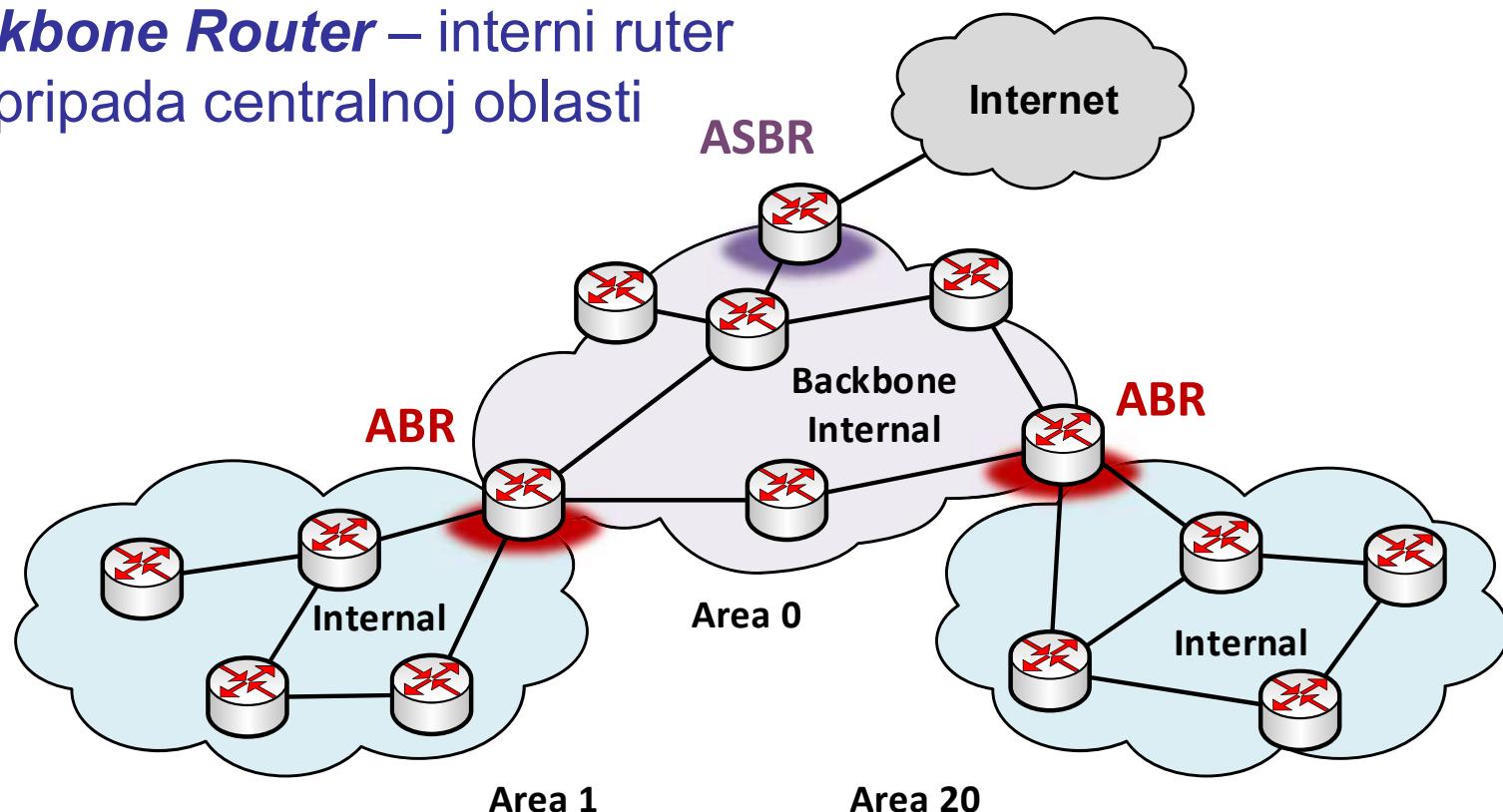
# OSPF oblasti - *Areas*

- Podela mreže na oblasti, u dva nivoa hijerarhije:
  - Centralna oblast – Area 0 (*Backbone Area, Transit Area*)
  - Periferne oblasti – Area  $n$  ( $n$  celobrojna vrednost)
- Sve periferne oblasti se povezuju isključivo na centralnu oblast



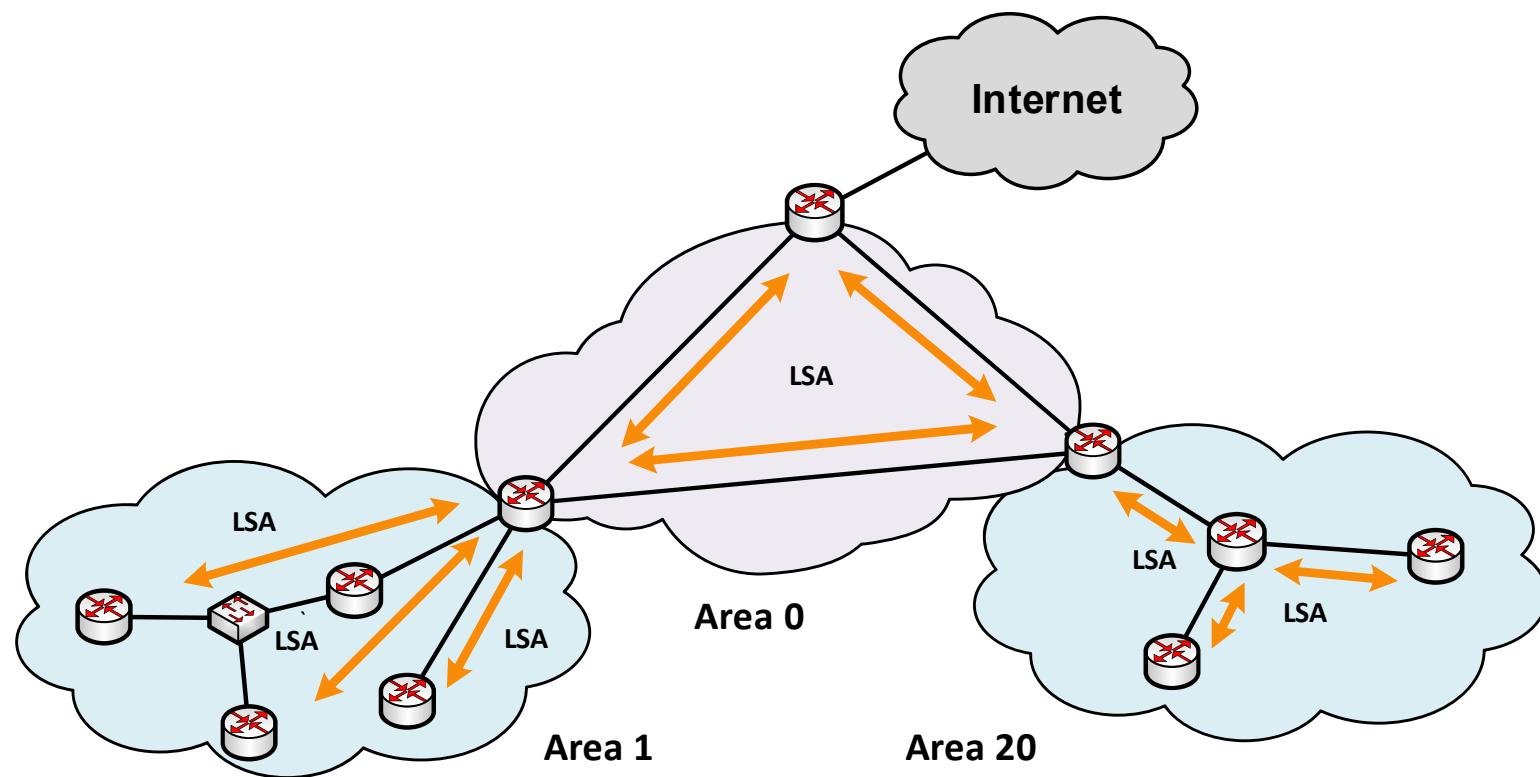
# OSPF vrste ruxera

- Vrste ruxera prema mestu i ulozi u oblasti:
  - **ABR (Area Border Router)**  
granični ruter između oblasti (centralne i periferne)
  - **ASBR (Autonomous System Boundary Router)**  
granični ruter između OSPF domena i nekog drugog ruting domena
  - **Internal Router** – interni ruter koji pripada samo jednoj oblasti
  - **Backbone Router** – interni ruter  
koji pripada centralnoj oblasti



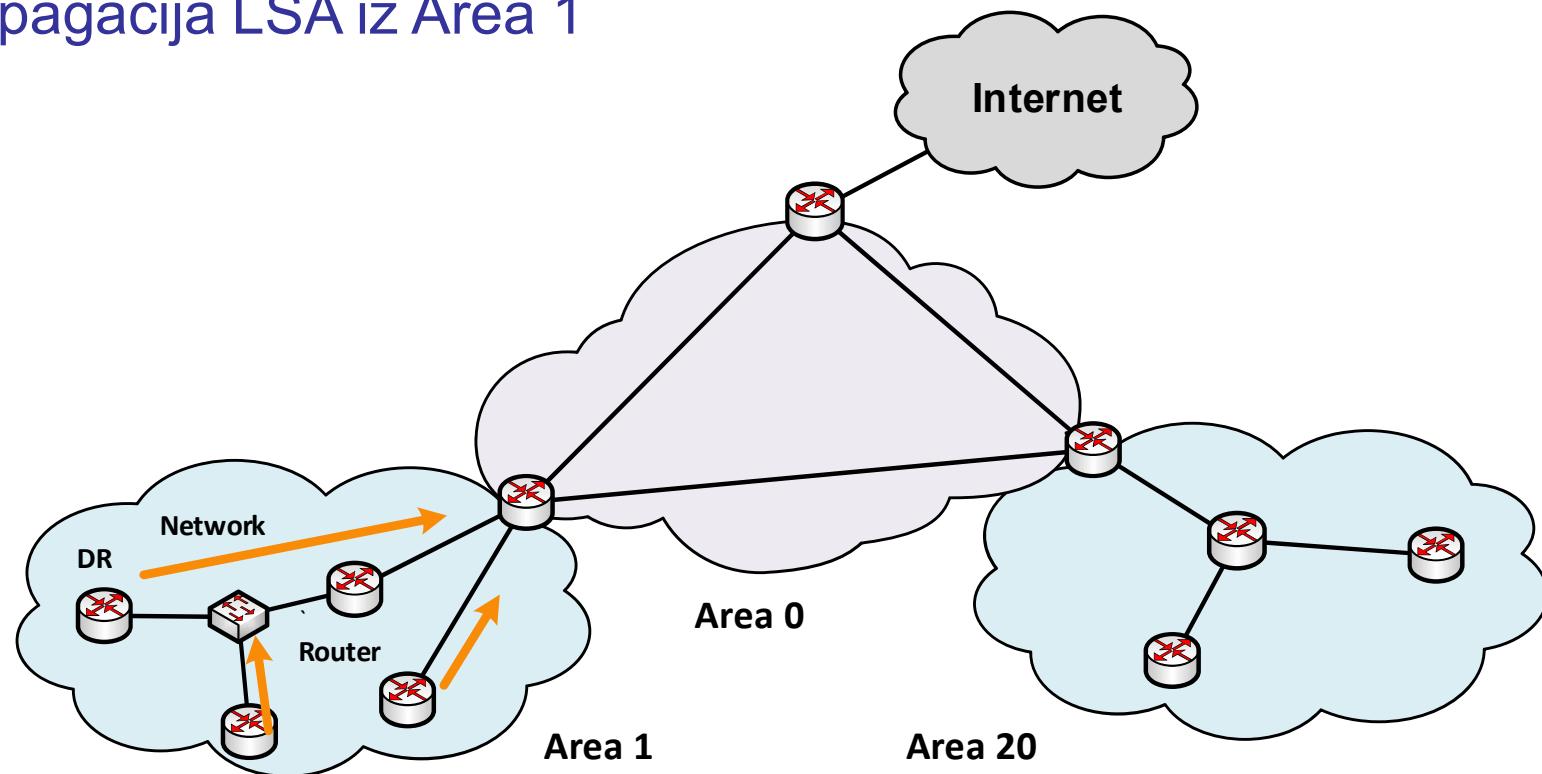
# Vrste LSA

- Vrste LSA prema načinu oglašavanja u i prenošenju između oblasti:
  - **Router LSA** – tip 1
  - **Network LSA** – tip 2
  - **Summary LSA** – tip 3 i 4
  - **External LSA** - tip 5



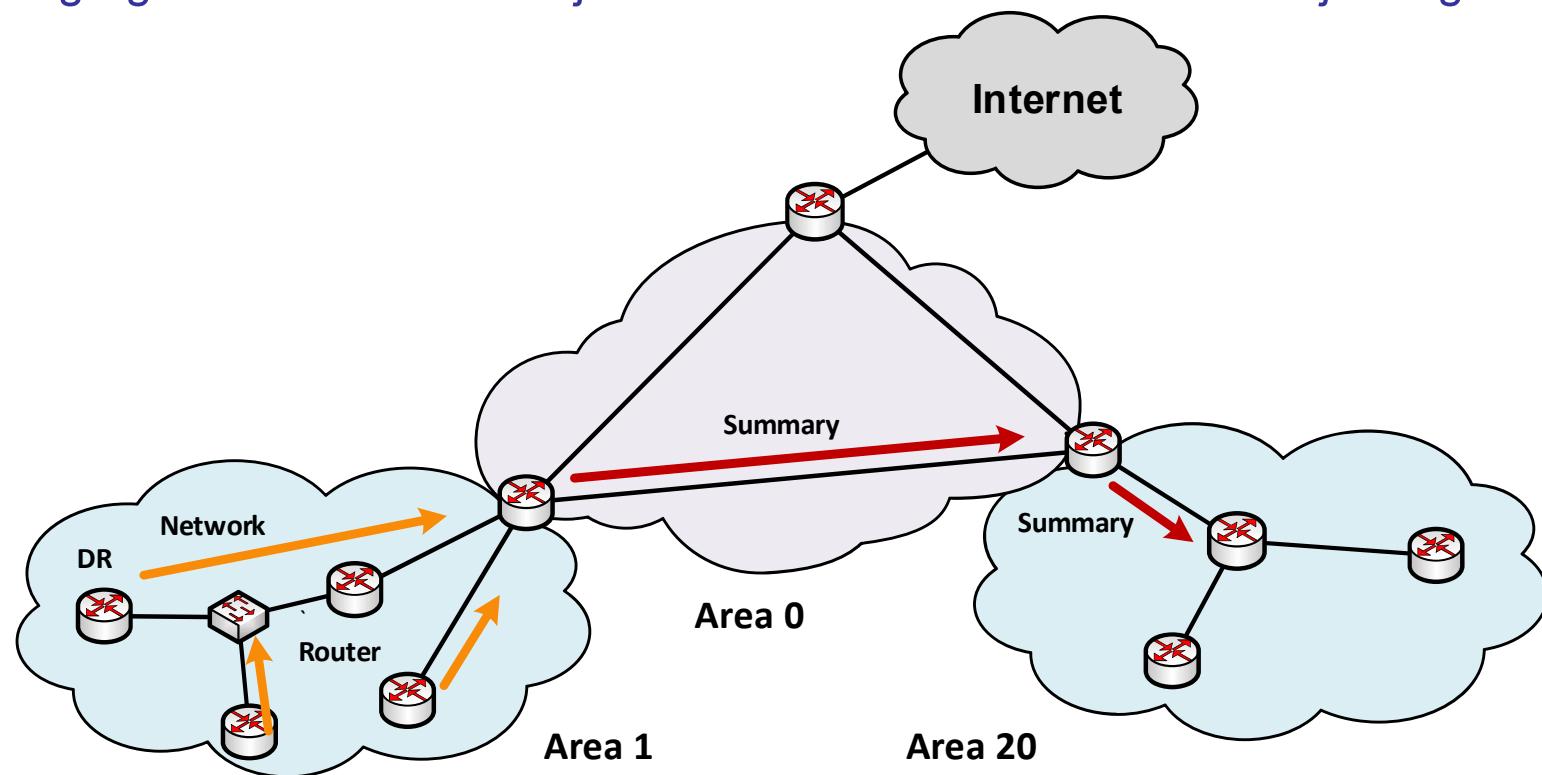
# Vrste LSA

- **Router LSA** – tip 1 (u ruting tabeli označene sa “O” – *intra-area*)
  - Generišu svi ruteri, daju informacije o svim interfejsima
  - Propagiraju unutar jedne oblasti, ne prenose se između oblasti
- **Network LSA** – tip 2 (u ruting tabeli označene sa “O” – *intra-area*)
  - Generiše DR ruter - oglašava se Ethernet mreža prema ostalim ruterima u oblasti
  - Propagiraju se unutar jedne oblasti, ne prenose se između oblasti
- Primer:
  - Propagacija LSA iz Area 1



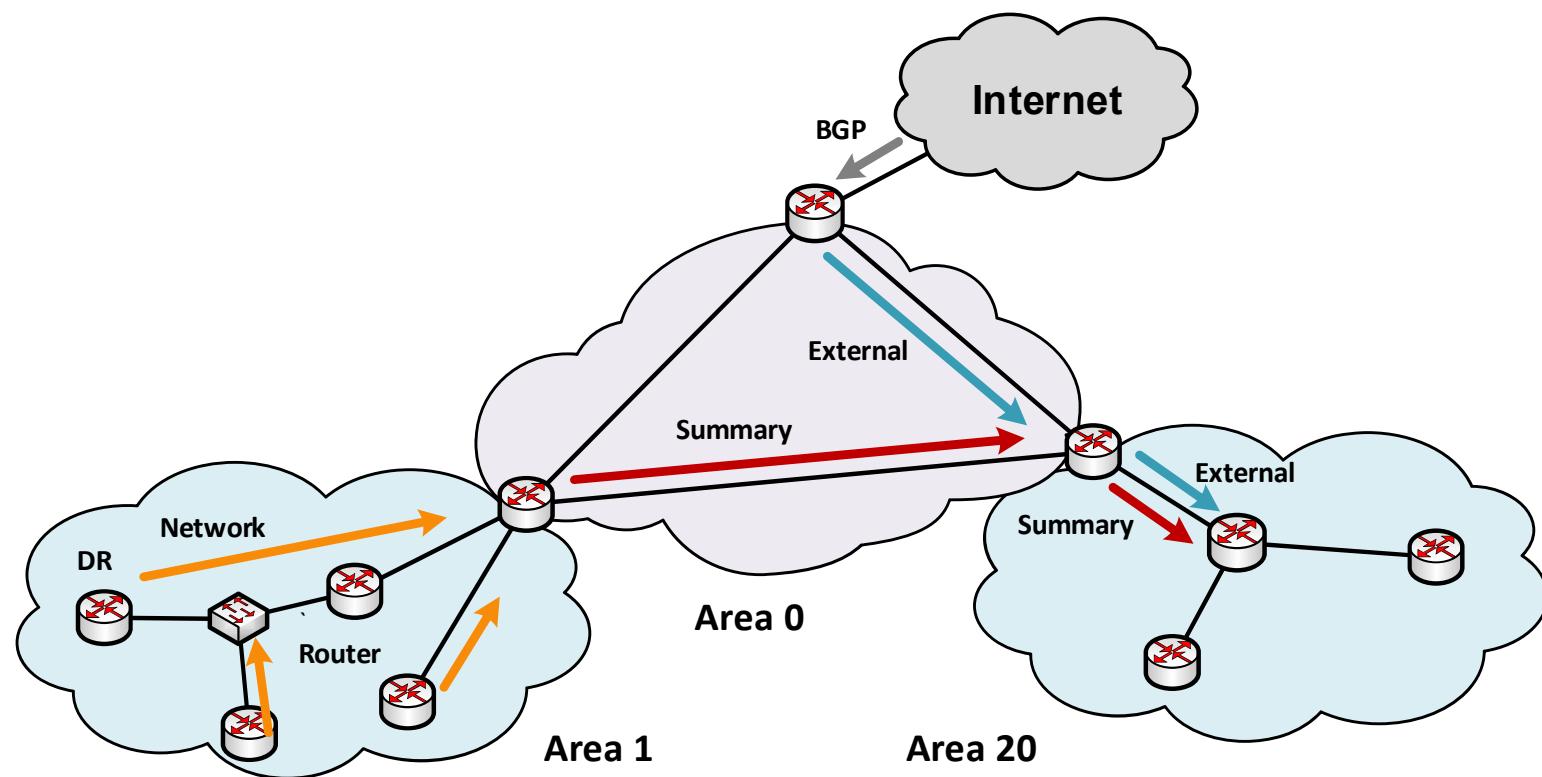
# Vrste LSA

- **Summary LSA** – tip 3 i 4 (u ruting tabeli označene sa “O IA” – *inter-area*)
  - **Tip 3** – LSA u koje se pretvaraju **Router LSA (tip 1)** i **Network LSA (tip 2)** na ABR
    - Informacije o lokalnim linkovima i mrežama, koje ABR iz jedne oblasti prenosi kroz Area 0 i preko drugih ABR unose se u druge oblasti
  - **Tip 4** – LSA koje oglašava ASBR rutera za svoje interfejse (informacije kako mu pristupiti)
- Smanjenje *flooding*-a
  - Router LSA i Network LSA se na ABR pretvaraju u Summary LSA i prenosi se u sve oblasti
  - Promene u jednoj oblasti – ne preračunava se SPF algoritam u drugim oblastima
  - Cilj je agregirati sve IP mreže iz jedne oblasti - dodatno se rasterećuju druge oblasti



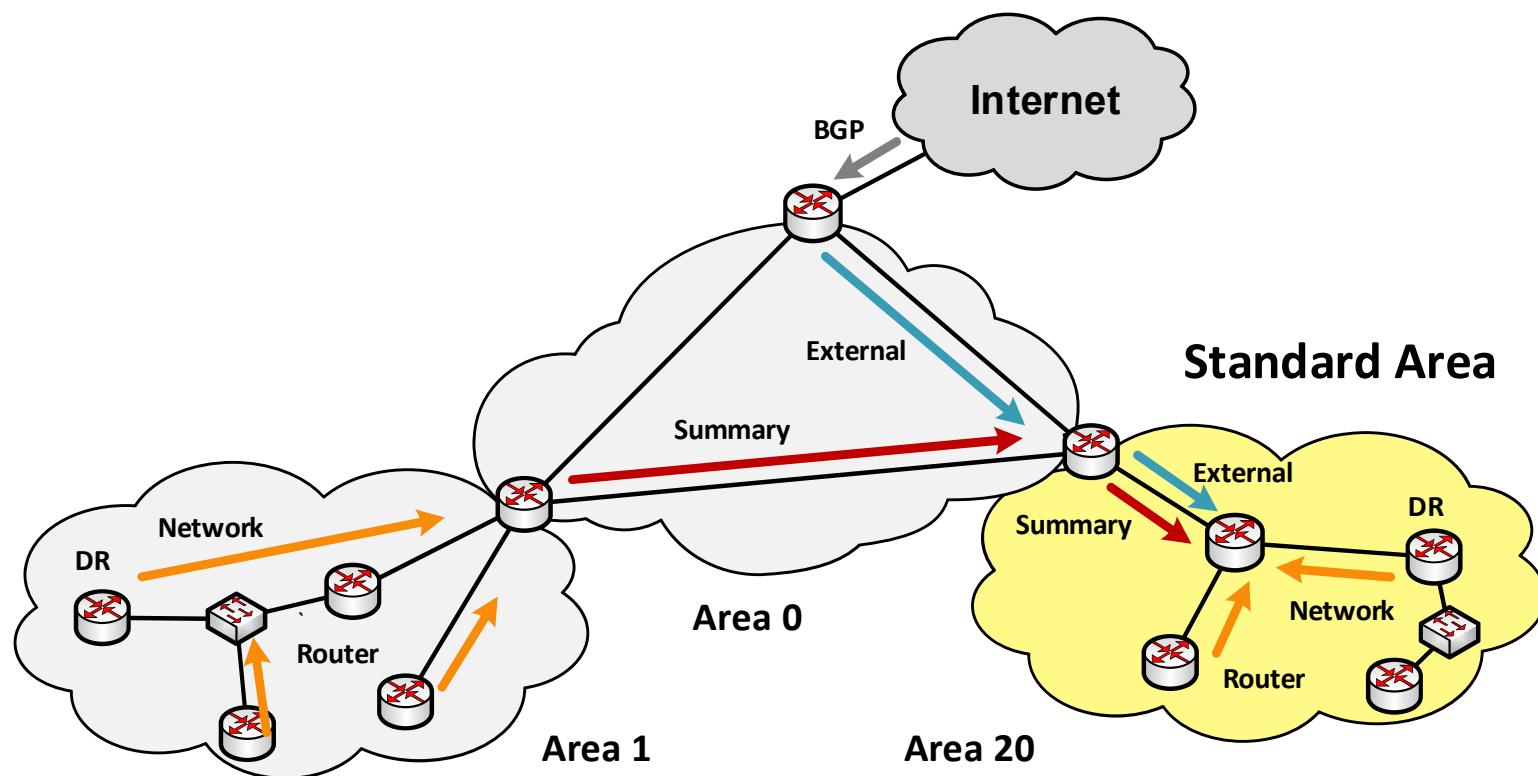
# Vrste LSA

- **External LSA** - tip 5 (u ruting tabeli označene sa “O E1” i “O E2”)
  - Informacije o mrežama van OSPF domena, koje generiše ASBR i ubacuje OSPF
  - Dve vrste:
    - O E1 – na metriku iz drugog ruting domena dodaje se OSPF metrika (kumulativna cena)
    - O E2 – na metriku iz drugog ruting domena NE dodaje se OSPF metrika, nepromenjena u svim oblastima



# Vrste oblasti

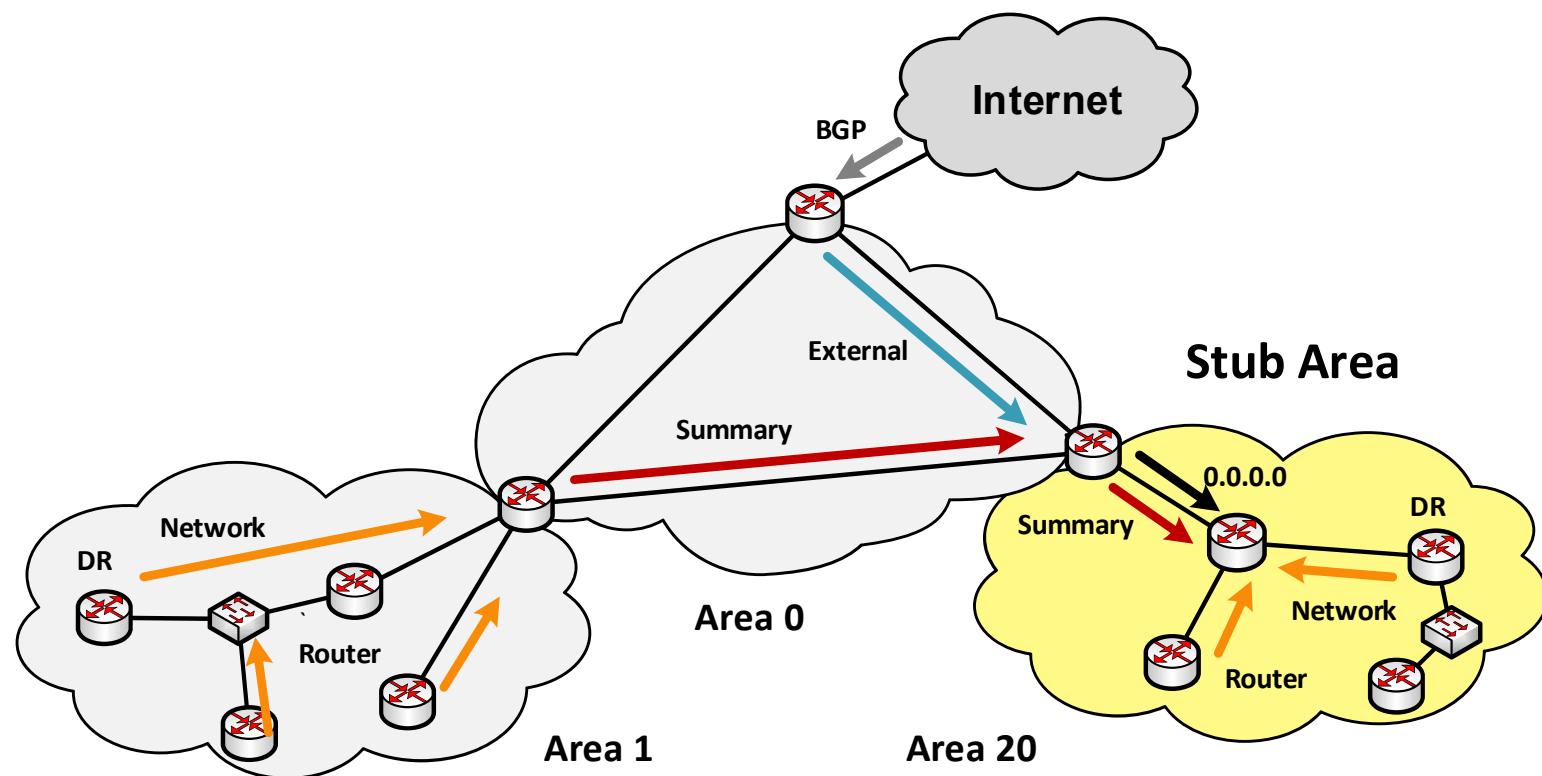
- Podjela oblasti prema vrsti LSA paketa koje u njih ulaze
- **Standard Area (Ordinary) – obična oblast**
  - Unutra sadrži Router LSA i Network LSA
  - Prihvata sve vrste LSA – ulaze i Summary i External LSA
- *Backbone Area* je uvek *Standard Area*



# Vrste oblasti

- **Stub Area**

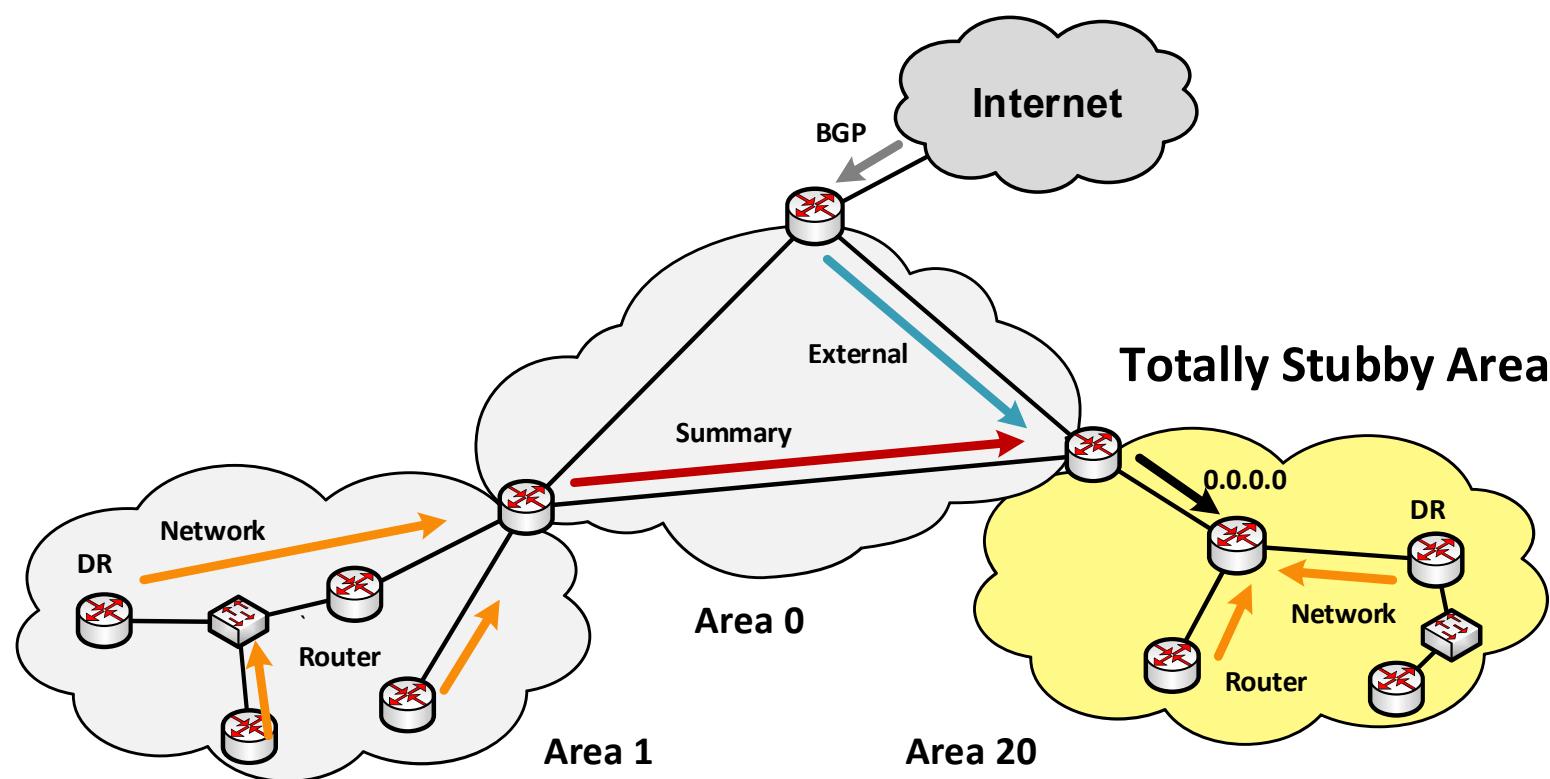
- Periferna oblast, ne prima *External LSA* (E1 i E2)
- Sadrži samo lokalne LSA unutar ove oblasti - *intra-area LSA*
- ABR ruteri automatski generišu difoltnu rutu i ubacuju je u oblast
  - Za saobraćaj prema odredištima van OSPF domena
- *Stub flag* – mora biti postavljen na svim ruterima u *Stub Area*



# Vrste oblasti

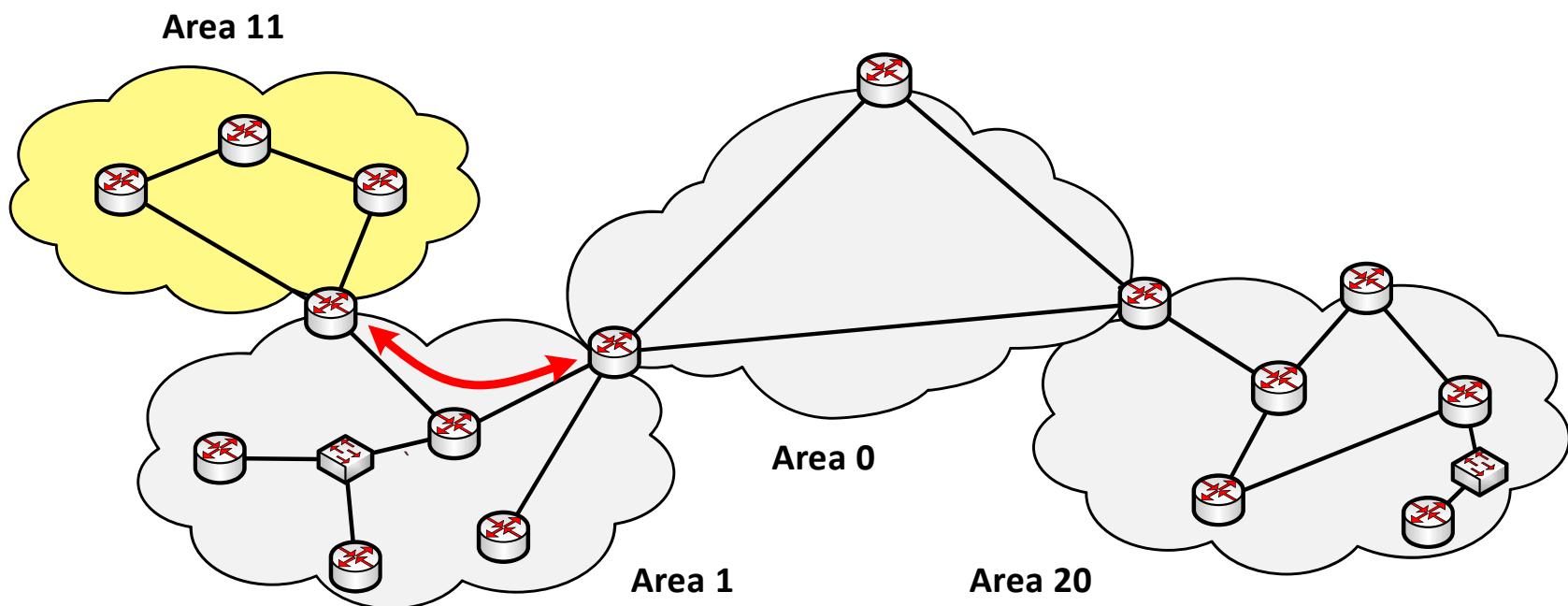
- **Totally Stubby Area**

- Periferna oblast, ne prima ni *External LSA* ni *Summary LSA*
- Sadrži samo lokalne LSA unutar ove oblasti - *intra-area LSA*
- ABR ruteri automatski generišu difoltnu rutu i ubacuju je u oblast
  - Za saobraćaj prema odredištima van OSPF domena
- *Stub flag* – mora biti postavljen na svim ruterima u *Totally Stubby Area*



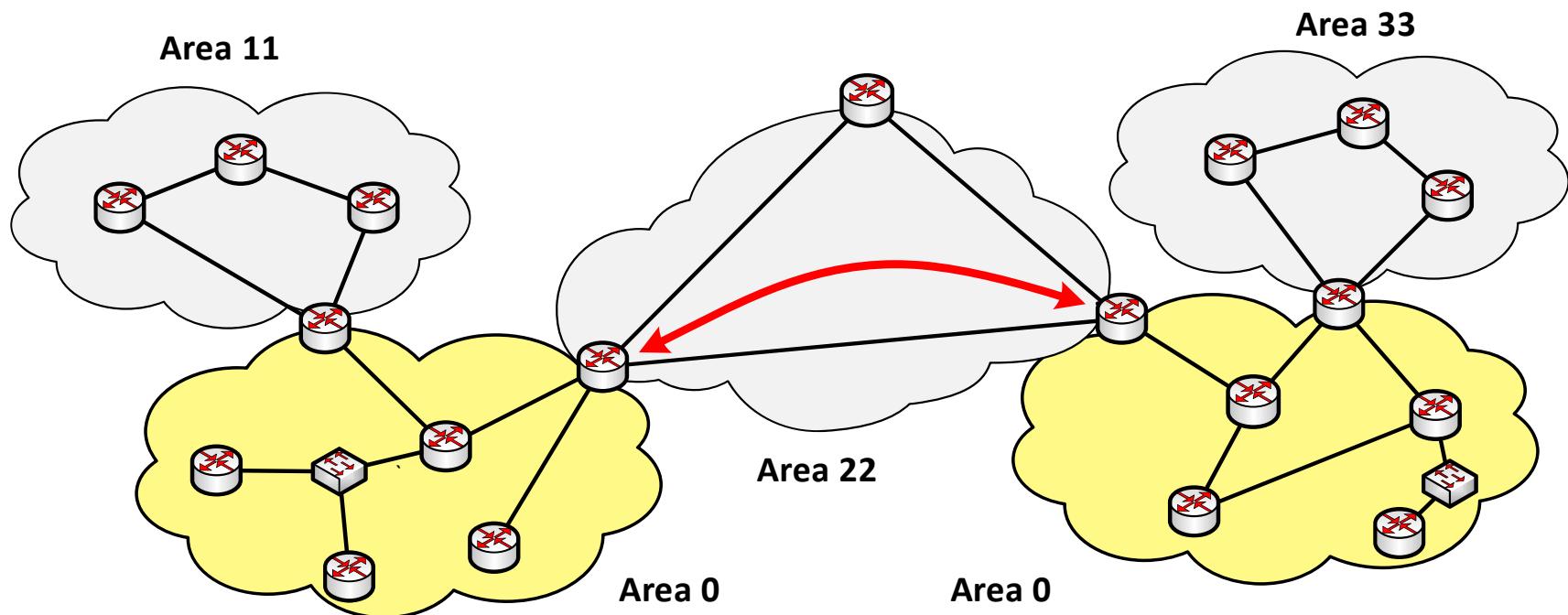
# Virtuelni linkovi

- Virtuelni linkovi
  - Mogućnost stvaranja logičkih veza (tunela) do ABR-a kroz neku drugu oblast
- Kada ne postoji fizička veza između periferne i centralne oblasti
  - Fizičko povezivanje jedne periferne oblasti na drugu perifernu oblast
  - Virtuelno (logičko) povezivanje periferne oblasti na centralnu oblast



# Virtuelni linkovi

- Virtuelni linkovi između dva dela centralne oblasti
  - Kada ne postoji fizička veza unutar centralne oblasti
- Primer
  - spajanje dva OSPF domena



# OSPF – primer konfiguracije

1. korak - konfigurisanje OSPF procesa na Cisco ruteru:

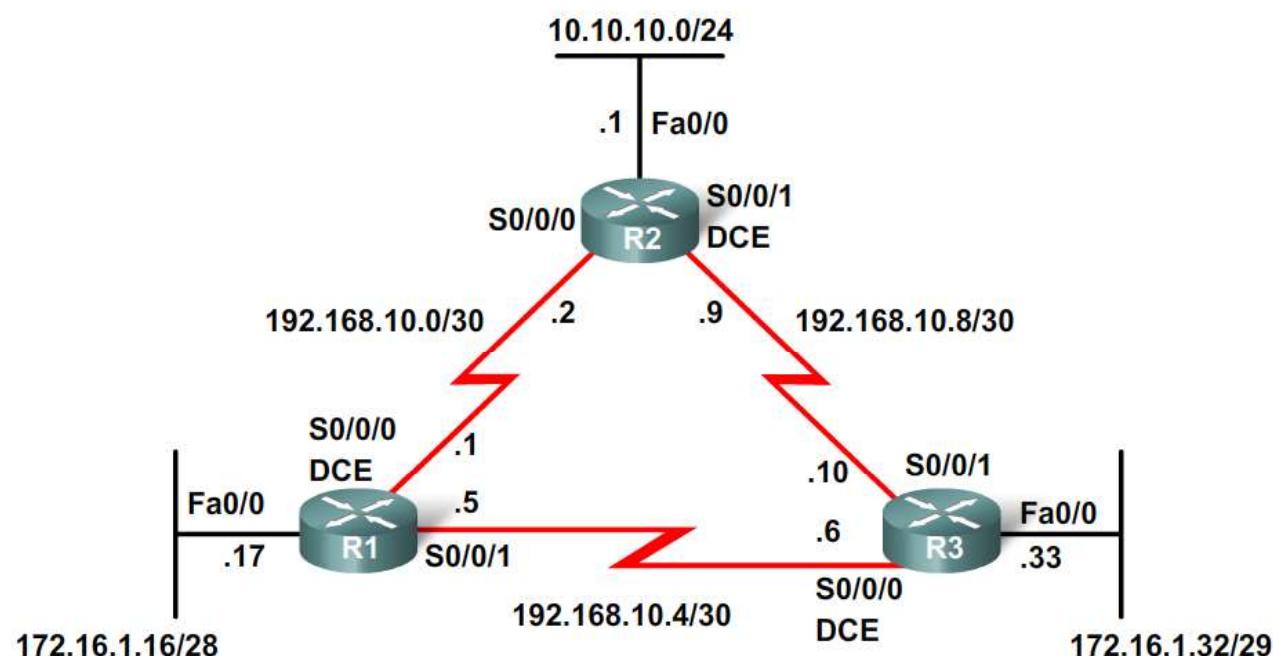
```
R(config) #router ospf process-id
```

- *process-id* – broj od 1 do 65535, lokalno značenje samo na tom ruteru, nezavisno od drugih rutera (može biti različito na drugim ruterima)

```
R1(config) #router ospf 1
R1(config-router) #

R2(config) #router ospf 1
R2(config-router) #

R3(config) #router ospf 1
R3(config-router) #
```



# OSPF – primer konfiguracije

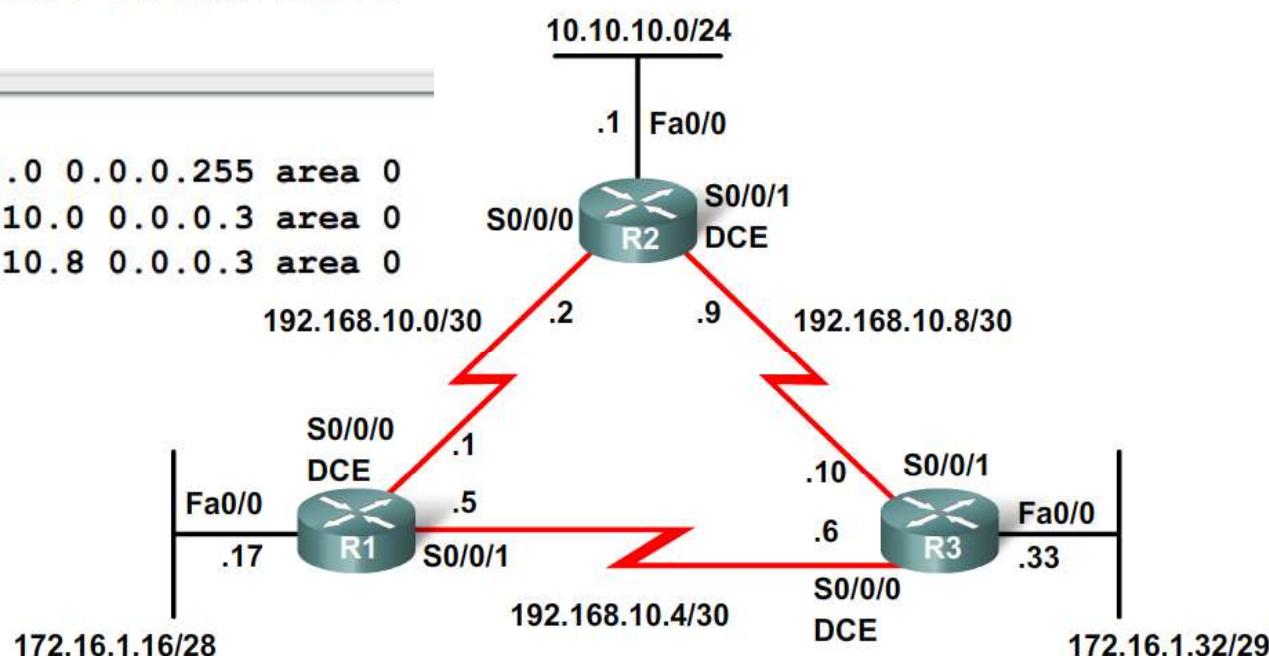
## 2. korak - Konfigurisanje mreža koje se oglašavaju u OSPF domenu

```
R(config-router) #network network-address wildcard area area-id
```

- *network-address* – IP adresa mreže
- *wildcard* – maska u inverznom obliku – vodeće nule, prateće jedinice !
- *area-id* – broj oblasti, globalno značenje, usaglašen na svim ruterima

```
R1(config) #router ospf 1
R1(config-router) #network 172.16.1.16 0.0.0.15 area 0
R1(config-router) #network 192.168.10.0 0.0.0.3 area 0
R1(config-router) #network 192.168.10.4 0.0.0.3 area 0
```

```
R2(config) #router ospf 1
R2(config-router) #network 10.10.10.0 0.0.0.255 area 0
R2(config-router) #network 192.168.10.0 0.0.0.3 area 0
R2(config-router) #network 192.168.10.8 0.0.0.3 area 0
```



# OSPF – primer konfiguracije

Listanje ruting tabele:

R1#**show ip route**

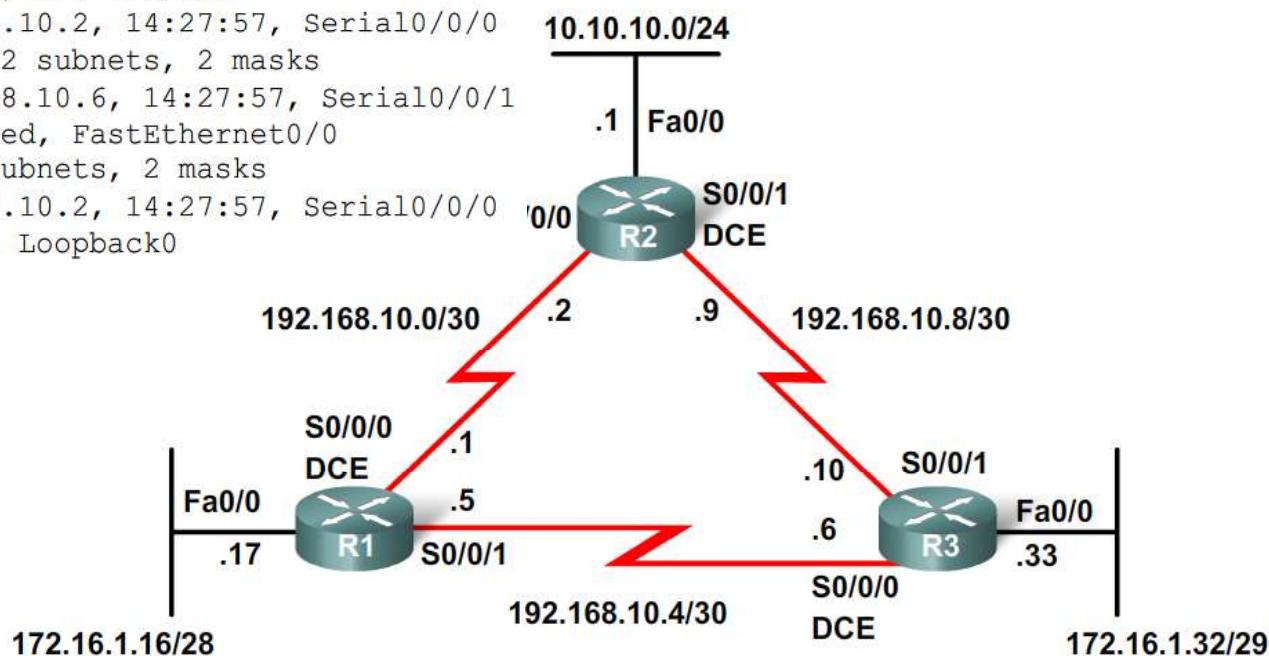
---

```
R1#show ip route
```

Codes: <some code output omitted>  
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area

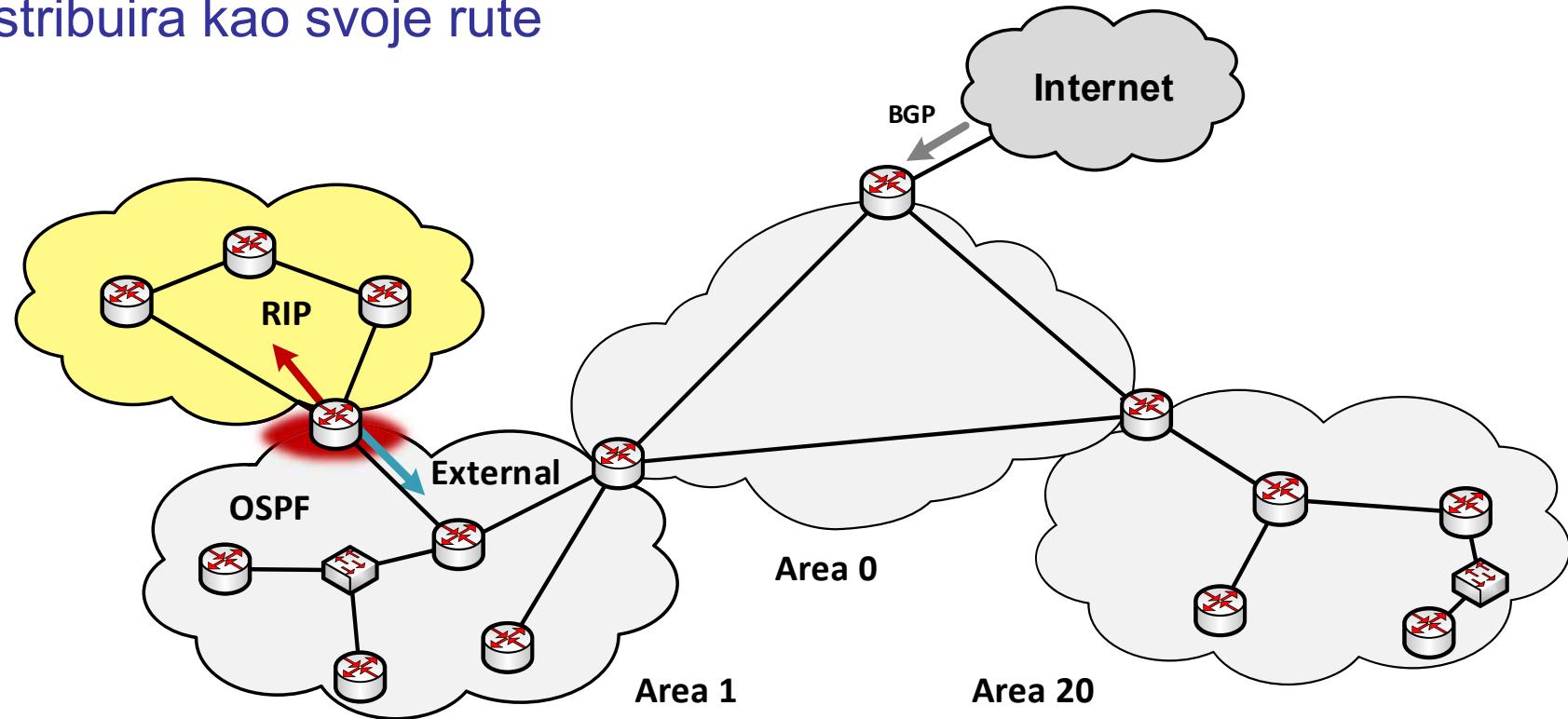
Gateway of last resort is not set

```
192.168.10.0/30 is subnetted, 3 subnets
C     192.168.10.0 is directly connected, Serial0/0/0
C     192.168.10.4 is directly connected, Serial0/0/1
O     192.168.10.8 [110/128] via 192.168.10.2, 14:27:57, Serial0/0/0
      172.16.0.0/16 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O     172.16.1.32/29 [110/65] via 192.168.10.6, 14:27:57, Serial0/0/1
C     172.16.1.16/28 is directly connected, FastEthernet0/0
      10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
O     10.10.10.0/24 [110/65] via 192.168.10.2, 14:27:57, Serial0/0/0
C     10.1.1.1/32 is directly connected, Loopback0
```



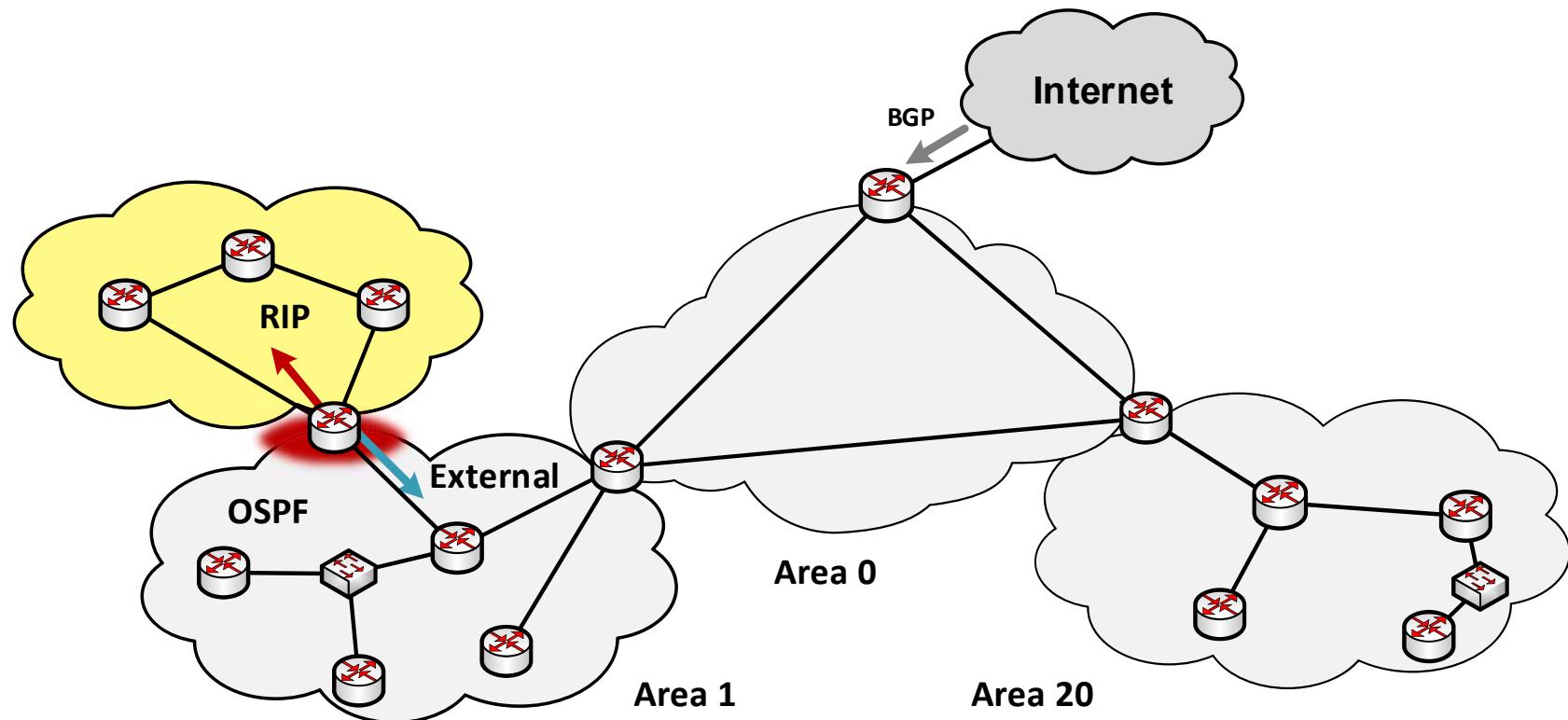
# Redistribucija ruta

- Redistribucija ruta
  - Razmena ruta između različitih protokola rutiranja
- Potreba
  - Obezbediti IP konektivnost mreža iz različitih ruting domena
- Sprovođenje
  - Jedan ruting domen učitava rute iz drugog ruting domena i nastavlja da distribuira kao svoje rute



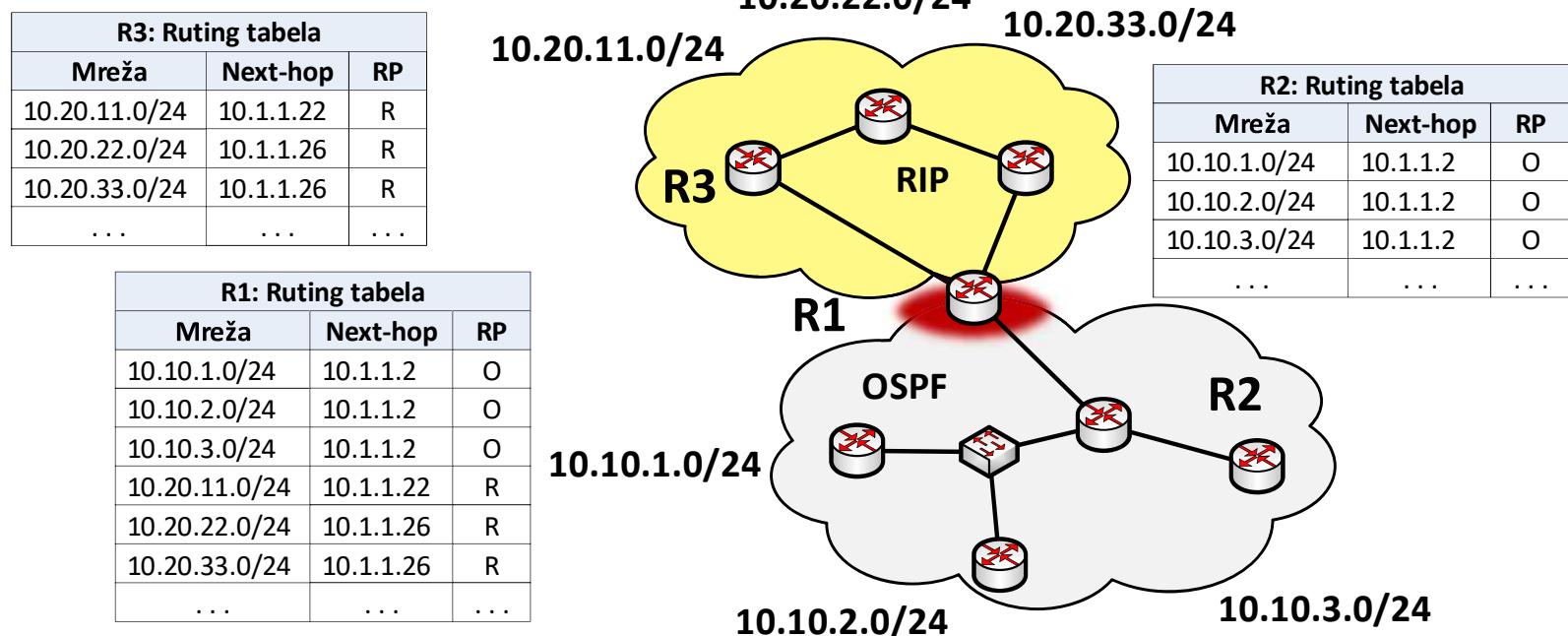
# Redistribucija ruta

- *Connected rute*
  - Automatski se uključuju u ruting domen ako su obuhvaćene konfiguracijom ruting protokola (komanda `network` kod cisco rutera)
- Sve ostale rute zahtevaju manuelno konfigurisanje redistribucije iz jednog u drugi ruting domen
  - Statičke rute, RIP, OSPF, IS-IS, BGP, EIGRP itd.



# Redistribucija ruta

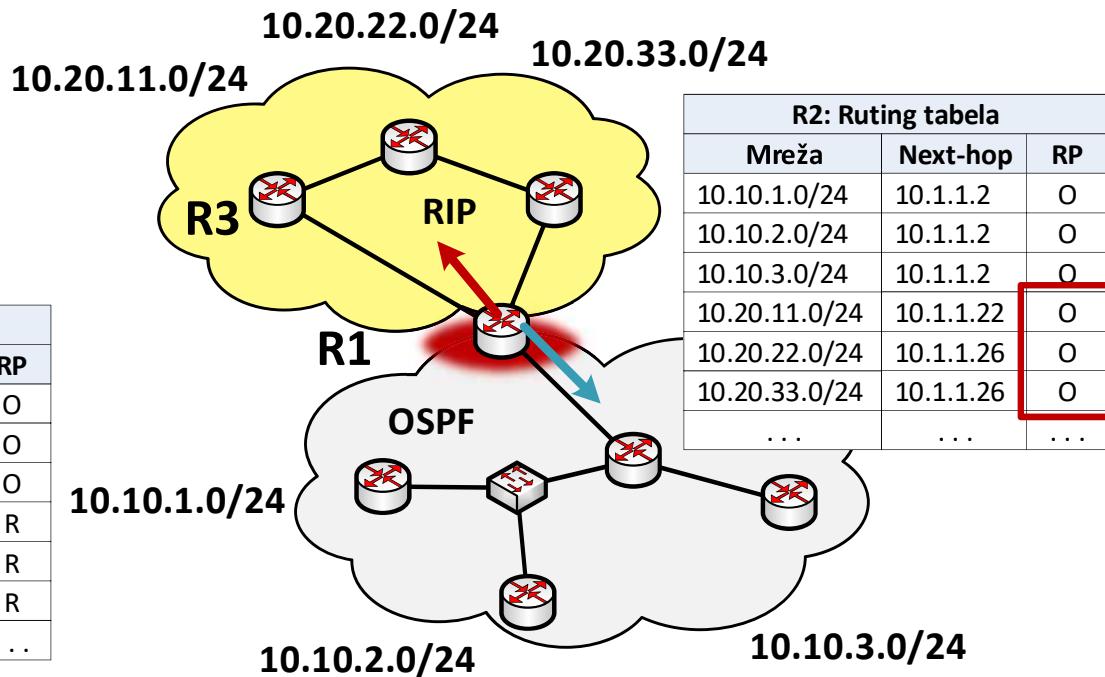
- Primer bez redistribucije ruta
  - Nema razmena ruta između različitih ruting domena
  - Nije definisana difoltna ruta
  - Nema konektivnosti i razmene saobraćaja



# Redistribucija ruta

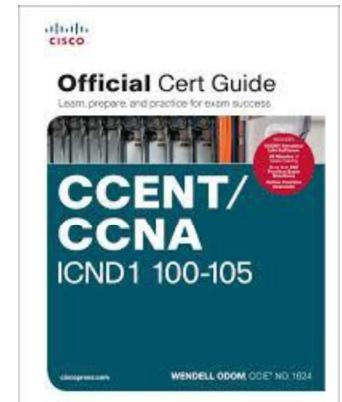
- Potrebno je konfigurisati redistribuciju ruta na ruteru R1, da bi ostali ruteri saznali sve rute iz oba ruting domena
- Nakon obostrane redistribucije (RIP u OSPF, OSPF u RIP)
  - Sve rute u na ruteru R2 su OSPF rute (eksterne)
  - Sve rute u na ruteru R3 su RIP rute

R3: Ruting tabela		
Mreža	Next-hop	RP
10.20.11.0/24	10.1.1.22	R
10.20.22.0/24	10.1.1.26	R
10.20.33.0/24	10.1.1.26	R
10.10.1.0/24	10.1.1.2	R
10.10.2.0/24	10.1.1.2	R
10.10.3.0/24	10.1.1.2	R
...	...	...
10.10.1.0/24	10.1.1.2	O
10.10.2.0/24	10.1.1.2	O
10.10.3.0/24	10.1.1.2	O
10.20.11.0/24	10.1.1.22	R
10.20.22.0/24	10.1.1.26	R
10.20.33.0/24	10.1.1.26	R
...	...	...

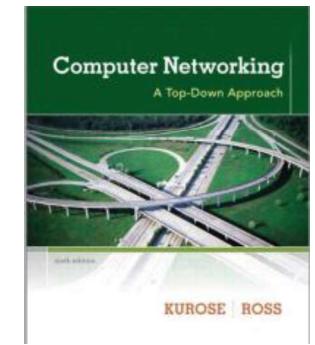


# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press

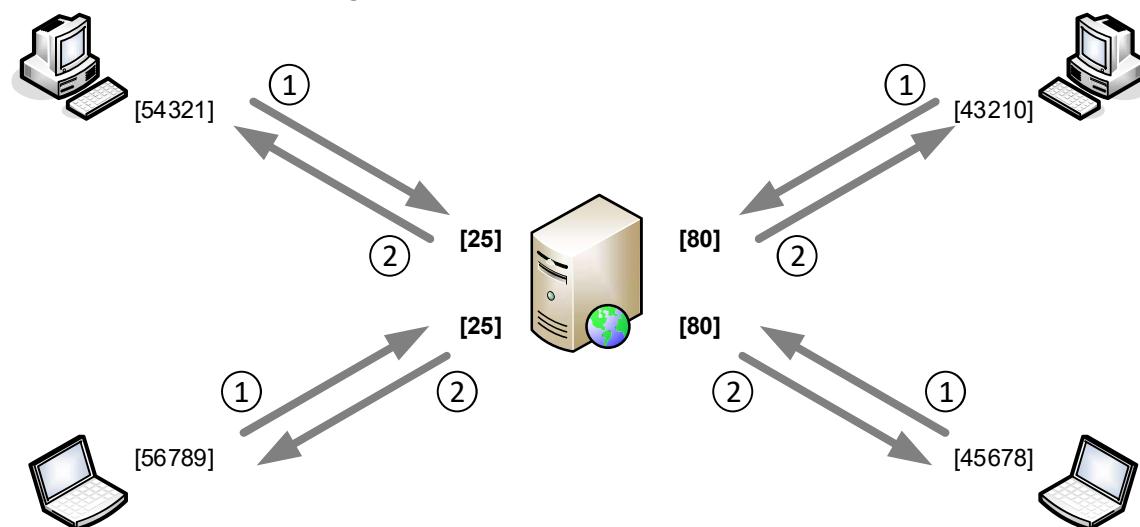


- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET



# Klijent–Server komunikacija

- Serverske aplikacije
  - Aplikacije dostupne (otvorene) za pristup od strane proizvoljnih korisnika
  - Soket: unapred poznata IP adresa i poznat TCP ili UDP port
- Klijentske aplikacije
  - Aplikacije na strani korisnika koje iniciraju komunikaciju sa serverskim aplikacijama
  - Soket: proizvoljna IP adresa i dinamički dodeljen TCP ili UDP port
- Dvosmerna komunikacija između klijentskih i serverskih soketa
  - Zahtev od klijenta prema serveru
  - Odgovor servera prema klijentu



# WWW – web servis



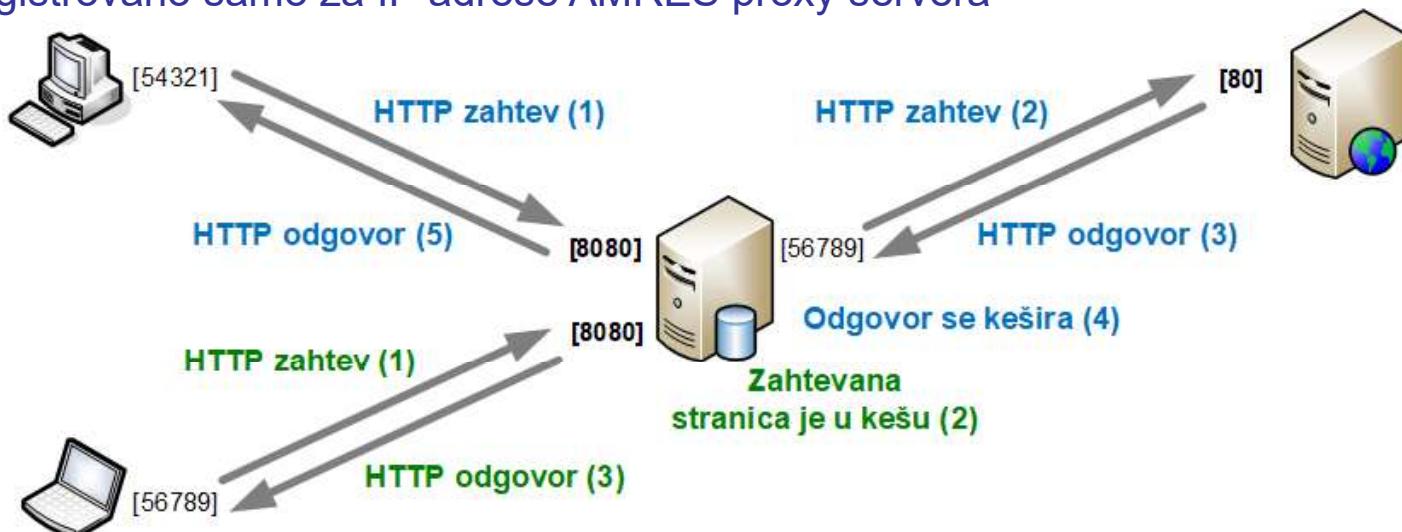
- WWW – *World Wide Web*,
  - Sir Timothy John Berners-Lee, 1989
- HTTP – *HyperText Transfer Protocol*, RFC 1945, RFC 2616
- Prenos tekstualnih poruka, sa posebnim tagovima i ugnježđenom struktrom
  - HTML – *HyperText Markup Language*, RFC 1866, ISO/IEC 15445:2000, na bazi SGML (*Standard Generalized Markup Language*, ISO TR 9537)
  - Binarni podaci se referencijaru i prenose kao posebni objekti (slike, audio, video)
- HTTP – TCP port 80
- HTTPS – TCP port 443 (SSL/TLS - „Secure HTTP“)
- Dva moda za održavanje konekcija:
  - *Non-Persistent* – uspostavlja se TCP veza za svaki upit i nakon toga raskida
  - *Persistent* – uspostavlja se TCP veza i koristi za više odgovora još neko vreme, čak iako se ne koristi (*timeout*)
- Dva moda za praćenje konekcija:
  - *Stateless* – ne pamti se stanje aktivnosti klijenta
  - *Stateful* – pamti se od strane veb sajtova (*cookie*)

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>This is a title</title>
  </head>
  <body>
    <p>Hello world!</p>
  </body>
</html>
```



# Proxy servis – Web Cache

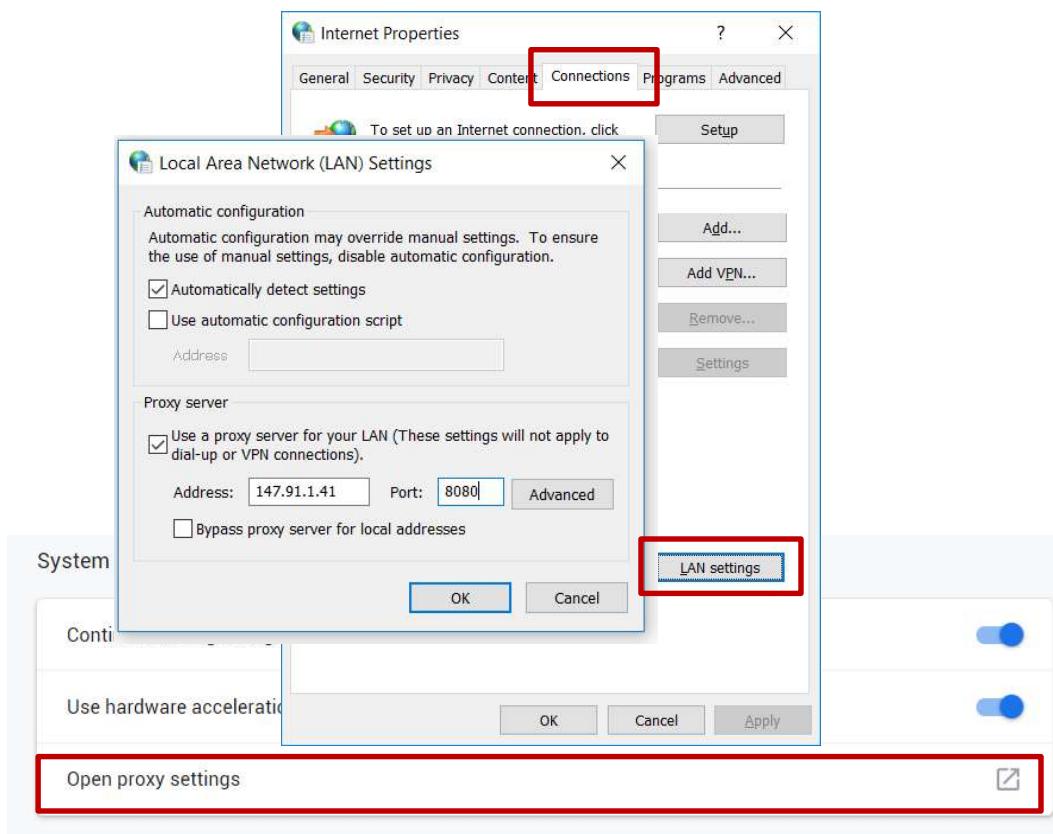
- Posredni server za HTTP protokol
  - Prethodno zahtevane stranice se keširaju i čuvaju neko vreme
  - Za ponovljeni zahtev, čak i od drugog korisnika, vraćaju se keširanim podacima
- Prednosti:
  - Brži odziv, optimizovana potrošnja Internet veze
  - Povećava privatnost korisnika (sakriva ih za spoljne servere)
  - Filtriranje saobraćaja - omogućava kontrolu pristupa (nedozvoljeni saobraćaj)
  - Omogućavanje pristup određenom sadržaju
    - KOBSON servis – pristup velikom broju naučnih časopisa samo preko AMRES mreže
  - Registrovano samo za IP adresu AMRES proxy servera



# Proxy servis – podešavanje

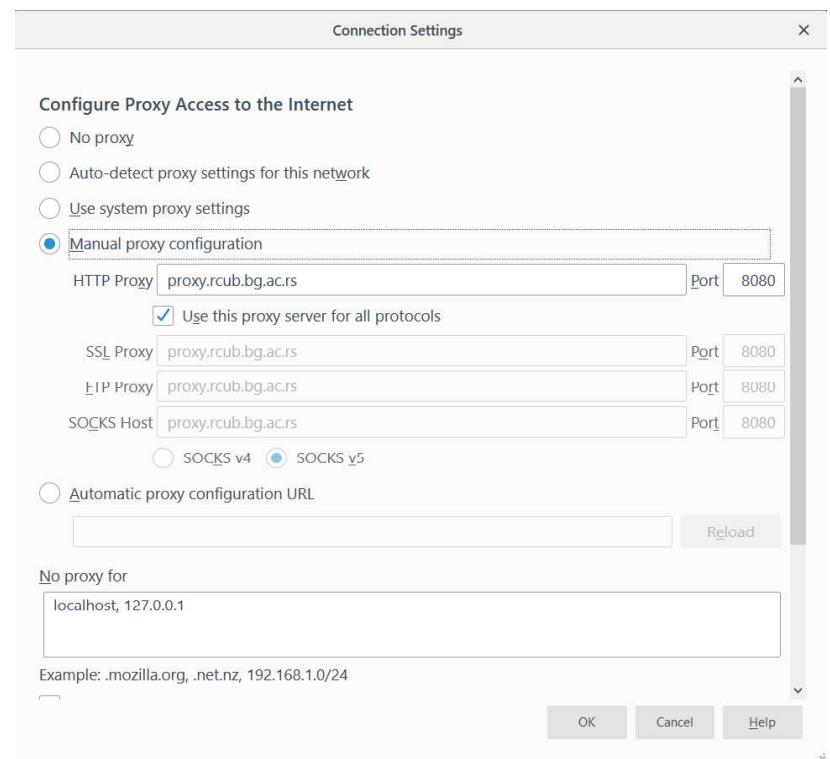
## Google Chrome

- Settings > Advanced > System : Open proxy settings
- Windows Internet Properties > Connections > LAN setting



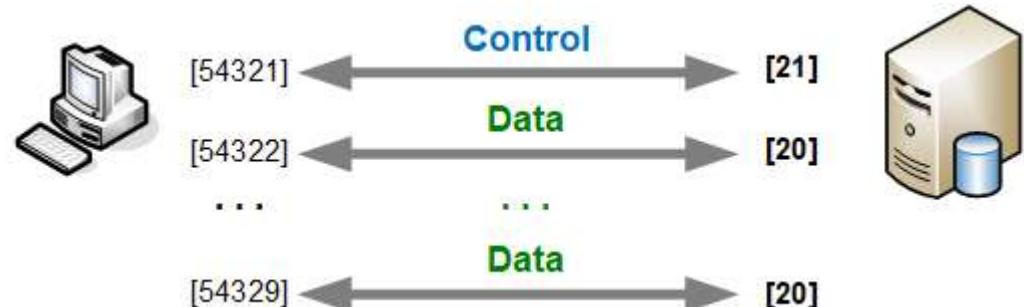
## FireFox

- Options > Network Settings: Settings...
- Connections Settings



# FTP – *File Transfer Protocol*

- Protokol prenosa datoteka, RFC 959, 1985.
- Koristi dve TCP konekcije:
  - Kontrolna konekcija – TCP port 21
    - 7-bitni ASCII tekst za zadavanje komandi:
    - USER, PASS, LIST, RETR, STOR
    - Korisnik koristi poseban program, loguje se, zadaje tekstualne komande (put, get, dir...)
    - Konekcija je otvorena dok je korisnik eksplicitno ne zatvorí (quite)
    - *Stateful* – pamti se stanje aktivnosti klijenta
  - Konekcija za podatke – TCP port 20
    - Jedna konekcija za prenos jedne datoteke
    - Prenos u oba smera
      - Od klijenta do servera – put, STOR
      - Od servera do klijenta – get, RETR
- Danas se prenos datoteka obično realizuje preko veb servisa i HTTP protokola
- TFTP - „*Trivial FTP*“
  - UDP port 69



# Email servis – Elektronska pošta

## • Slanje elektronske pošte

- Od servera pošiljaoca do servera primaoca
- Od pošiljaoca do matičnog servera (gde pošiljalac ima otvorenu elektronsku poštu)

**SMTP – Simple Mail Transfer Protocol**, RFC 821, RFC 5321

- 7-bit ASCII tekst – binarni podaci se enkoduju u tekst
- SMTP – TCP port 25
- SSL/TLS encrypted SMTP – TCP port 465 ili 587

## • Preuzimanje elektronske pošte

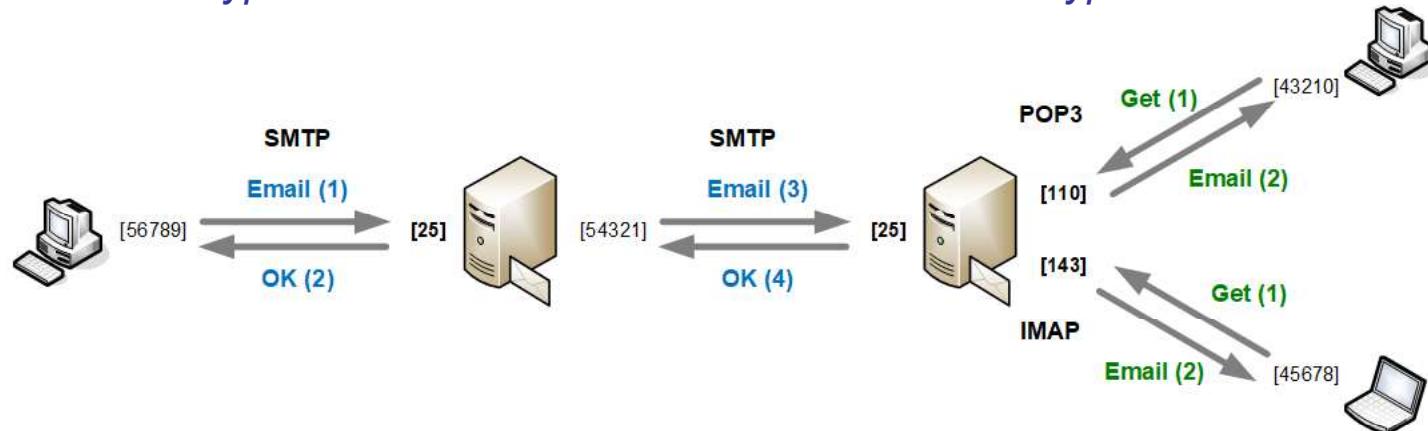
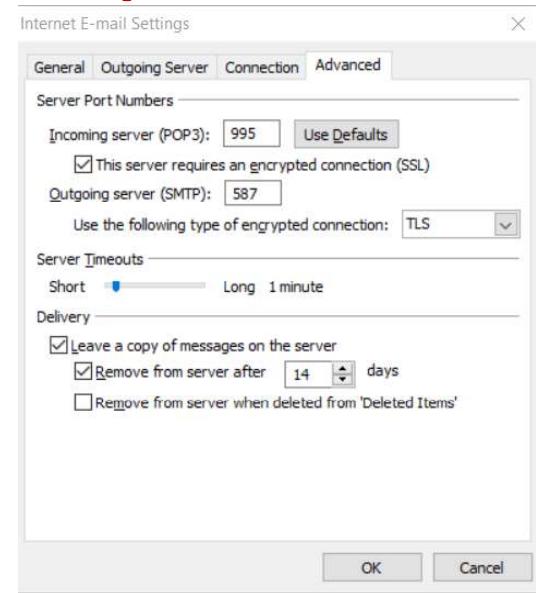
- Klijent pristupa matičnom serveru i preuzima pristiglu elektronsku poštu

**POP3 – Post Office Protocol, v3**

- POP3 – TCP port 110
- SSL/TLS encrypted POP3 – 995

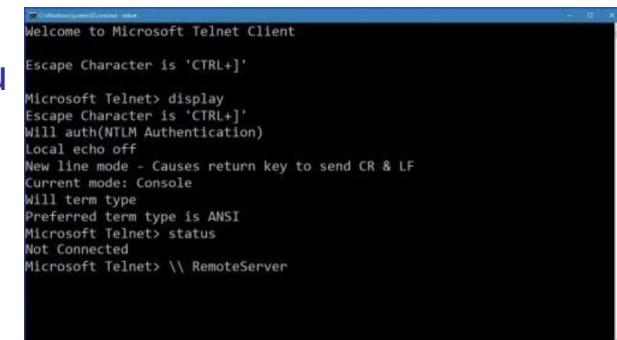
**IMAP – Internet Mail Access Protocol**

- IMAP – TCP port 143
- SSL/TLS encrypted IMAP – 993



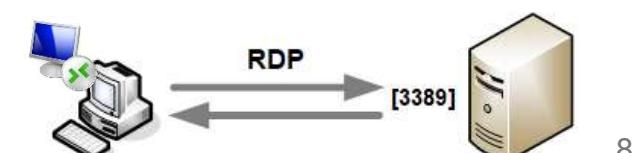
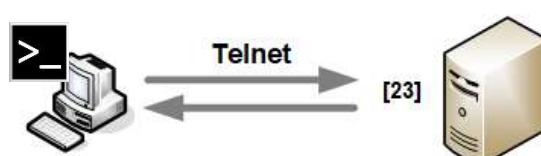
# Udaljeni pristup uređajima

- **Telnet**, RFC 854, 1983
  - Udaljeni pristup tekstualnoj konzoli (*CLI - Command Line Interface*)
  - TCP port 23
  - Telnet na neki drugi port otvara TCP konekciju ka tom portu  
`c:>telnet 11.22.33.44 80`



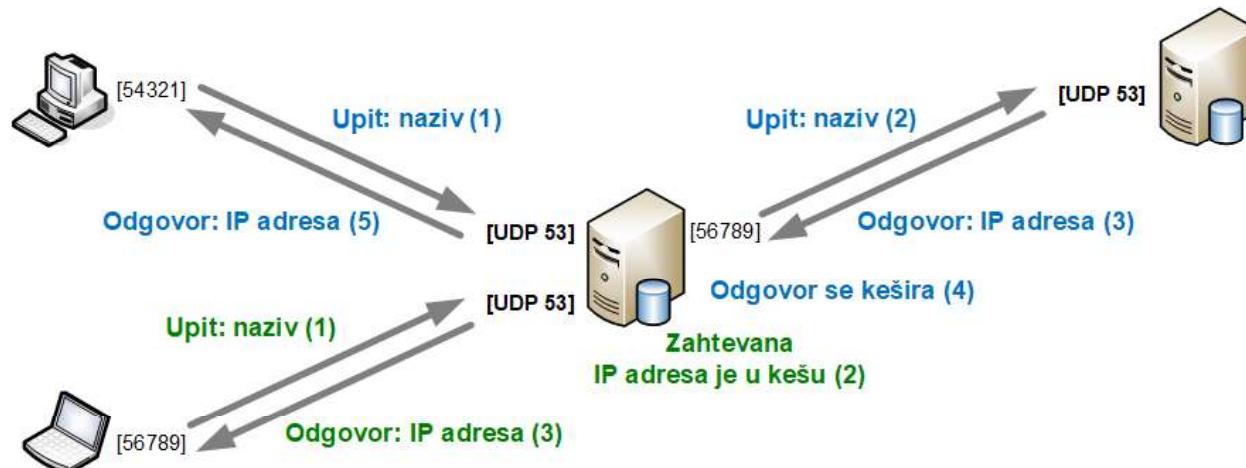
Welcome to Microsoft Telnet Client  
Escape Character is 'CTRL+]'  
Microsoft Telnet> display  
Escape Character is 'CTRL+]'  
Will auth(NTLM Authentication)  
Local echo off  
New line mode - Causes return key to send CR & LF  
Current mode: Console  
Will term type  
Preferred term type is ANSI  
Microsoft Telnet> status  
Not Connected  
Microsoft Telnet> \\ RemoteServer

- **SSH – Secure Shell [RFC 4253]**
  - Šifrovani udaljeni pristup tekstualnoj konzoli
  - TCP port 22
- **RDP – Remote Desktop Protocol (Microsoft)**
  - Udaljeni pristup grafičkoj konzoli (*Windows*)
  - TCP/UDP port 3389
  - RDP klijent – *Remote Desktop Connection* (*Windows, Linux, macOS, iOS, Android*)



# DNS - Domain Name System

- **Servis za pretvaranje naziva u IP adresu**
  - Dizajniran 1983 i definisan u seriji RFC dokumenata: RFC 882, 883, 1034, 1035...
  - UDP port 53, po potrebi i TCP port 53
- **Bazična potreba**
  - IP adrese su zgodne za "mašinsko" korišćenje, ali nepraktične za korisnike
  - Potrebno je uvesti simbolička imena za rad korisnika, koja se u pozadini pretvaraju u IP adrese
- **Osnovna uloga**
  - Mapiranje simboličkih naziva uređaja u IP adrese



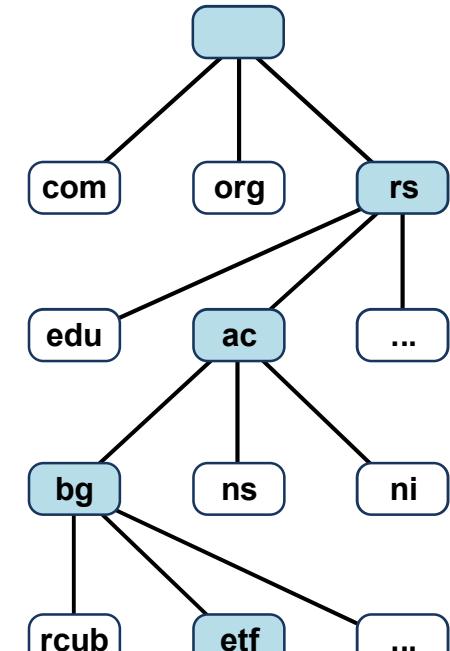
# DNS - *Domain Name System*

- Uloga
  - Mapiranje simboličkih naziva uređaja u IP adresu
    - www.etf.bg.ac.rs => 147.91.14.227
  - Mapiranje IP adresa u simboličke nazine uređaja
    - 147.91.14.227 => www.etf.bg.ac.rs
  - Definisanje hijerarhije domena – simboličkom imenu
  - Definisanje drugih podataka od interesa za domene (npr. email server za domen)
- Inicijalno (RFC 952, RFC 953, 1982)
  - Nazivi svih računara su bili definisani u jednoj datoteci - HOSTS.TXT
  - Datoteka je hostovana i ažurirana u *Stanford Research Institute*
  - Korisnici su preko mreže periodično preuzimali ovu datoteku i koristili je
- Danas
  - DNS – distribuirano definisanje i translacija IP adresa i imena
  - „hosts.txt“ datoteka postoji lokalno u operativnim sistemima i omogućava razrešavanje imena bez korišćenja DNS
  - Primer – sadržaj fajla „hosts.txt“:

127.0.0.1	localhost
172.16.4.226	develop.mydomain.com

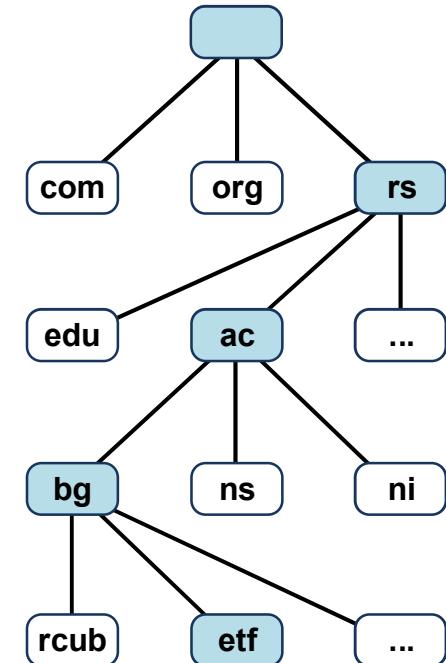
# DNS struktura

- Hjерархија имена у топологији стабла
  - Koren stabla – *root* domen u oznaci praznog stringa (" ")
  - Čvor u stablu – simbolički naziv (име)
- **Apsolutni naziv domena**
  - *Fully Qualified Domain Name (FQDN)*
  - Putanja od čvorova do korena stabla
    - Nazivi čvorova одвојени знаком тачка
  - Koren stabla se ne piše (" ")
    - Обично се изоставља тачка на крају и подразумева пун назив
  - Primer: "etf.bg.ac.rs." или "etf.bg.ac.rs"
- **Relativni naziv domena**
  - "Poddomen" неког domена
  - Без тачке на крају целог назива, implicitno se подразумева пун назив domена или назив poddomena u zavisnosti od konteksta (npr. kod konfigurisanja)
  - Primer:
    - "etf" је poddomen domena "bg.ac.rs."
    - "bg" је poddomen domena "ac.rs."
- **Nazivi računara (hostova)**
  - Pripadaju određenom domenu (čvoru)
  - Listovi u stablu



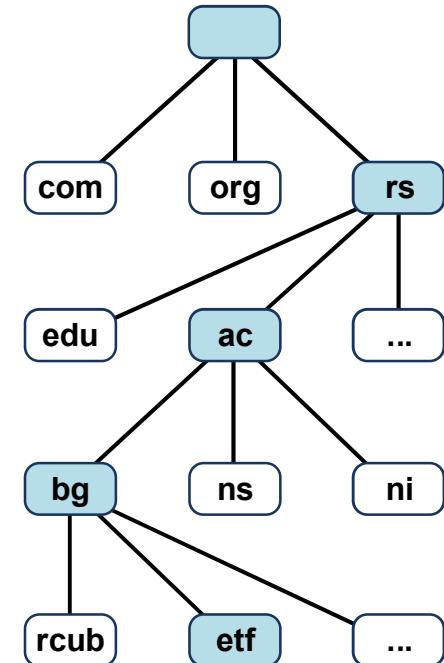
# DNS struktura

- Puno ime domena ili hosta sastoji se od više delova (labela, segmenata):
  - Svaka labela maksimalno 63 karaktera
  - Maksimalna dužina punog imena – 255 karaktera
  - ASCII karakteri: slova, brojevi, “\_”, “-”
  - *Case-insensitive*
    - Ne pravi se razlika između velikih i malih slova
- Naziv: aaaa.bbb.cc.
  - „cc“ je *Top Level Domain (TLD)*
  - „aaaa“, „bbb“ – labele - poddomeni
  - „aaaa“ – labela, može da bude i ime uređaja i ime poddomena
- Primeri:
  - etf.bg.ac.rs.
  - rti.etf.bg.ac.rs.
  - www.etf.bg.ac.rs.
  - www.etf.rs.



# TLD - *Top Level Domains*

- **TLD – Poddomeni *root domena***
- Inicialni TLD domeni, RFC 1123, 1985:
  - Globalni *root domen* “ ” – pripada SAD
    - com.
    - edu.
    - gov.
    - net.
    - org.
    - mil.
- ccTLD – *Country Code TLD*
  - Pripadaju pojedinačnim državama
  - Dodeljeni su po dvoslovnom ISO 3166 kodu zemlje
    - <http://www.iana.org/gtld/gtld.htm>
  - Primeri:
    - yu. - Yugoslavia
    - rs. – Republika Srbija
    - sr. – Surinam
    - eu. – European Union
    - ...

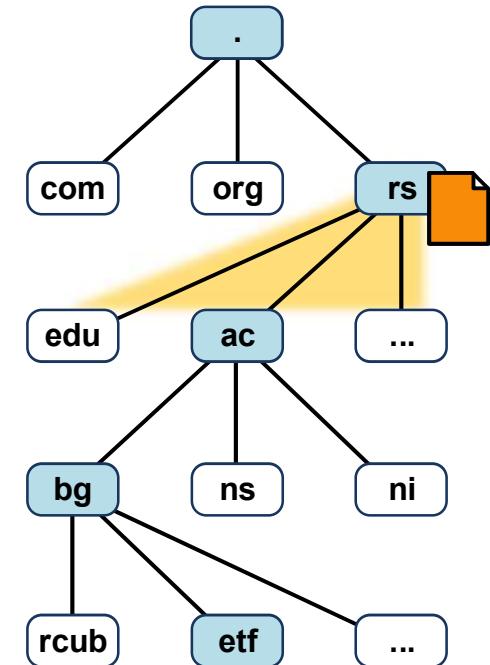


# TLD - *Top Level Domains*

- Kasnije prošireni TLD:
  - aero. - for the air transport industry
  - biz. - for business use
  - com. - for commercial organizations, but unrestricted
  - coop. - for cooperatives
  - edu. - for educational establishments
  - gov. - for governments and their agencies in the United States
  - info. - for informational sites, but unrestricted
  - int. - for international organizations established by treaty
  - jobs. - for employment-related sites
  - mil. - for the U.S. military
  - museum. - for museums
  - name. - for families and individuals
  - net. - originally for network infrastructures, now unrestricted
  - org. - originally for organizations not clearly falling within the other gTLDs, now unrestricted
  - pro. - for certain professions
  - travel. - for travel agents, airlines, hoteliers, tourism bureaus
  - ...

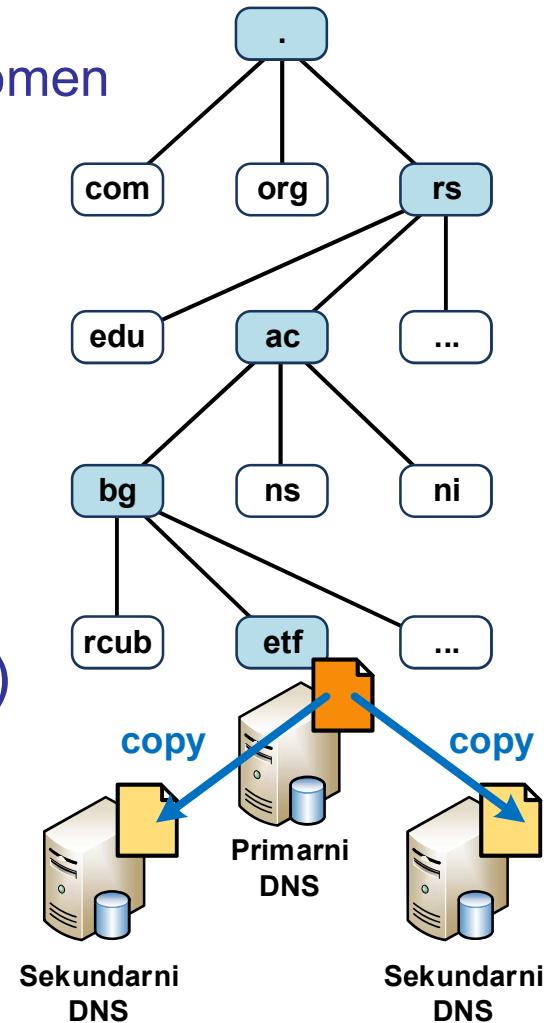
# DNS organizacija

- Logička struktura je fizički organizovana na distribuirani način
  - Celo stablo je podeljeno u zone
- **Zona**
  - Deo stabla (jedan ili više čvorova)
  - Sadrži informacije o pripadajućim domenima
    - Obično jedna zona je jedan čvor (domen)
  - Administrativno pripada jednoj celini (firma, univerzitet, država itd.)
  - Tekstualna datoteka definisana na jednom serveru
    - **DNS ili NS server (Name Server)**
- **Delegacija zona (Zone Delegation)**
  - Zona domena definiše naziva poddomena (linkovi u hijerarhiji domena), dok su ostali podaci poddomena definisani u odvojenim zonama
- Topologija domena je tehnički potpuno nezavisna od topologije fizičkog povezivanja u mreži
  - Uredaji iz jednog domena mogu da pripadaju različitim, fizički odvojenim i udaljenim mrežama
  - Uredaji u jednoj fizičkoj mreži mogu da pripadaju različitim domenima



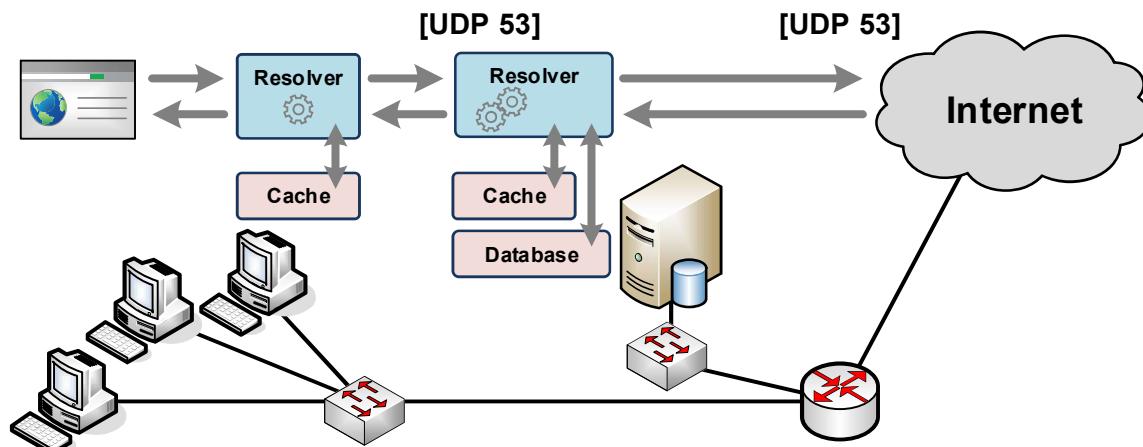
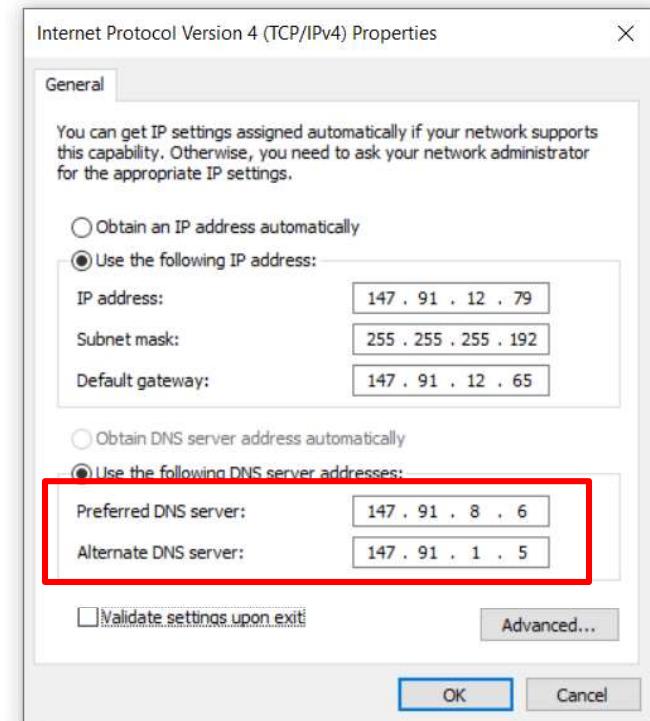
# Princip rada

- **Primarni DNS server** (za neki domen)
  - DNS server na kome je definisana zona za neki domen
  - Svi podaci za taj domen i definicije poddomena
- **Sekundarni DNS server** (za neki domen)
  - DNS server koji periodično preuzima zonu od primarnog DNS servera – **transfer zone**
  - Preporuka je da postoji bar jedan sekundarni DNS server za svaki domen
- **Autoritativni DNS serveri** (za neki domen)
  - DNS serveri koji imaju celokupne zone za određene domene
    - Primerni i svi sekundarni DNS serveri
  - Ravnopravna uloga i primarnog i svih sekundarnih servera u razrešavanju imena
    - Rasterećen rad primarnog servera
    - Veća pouzdanost rada



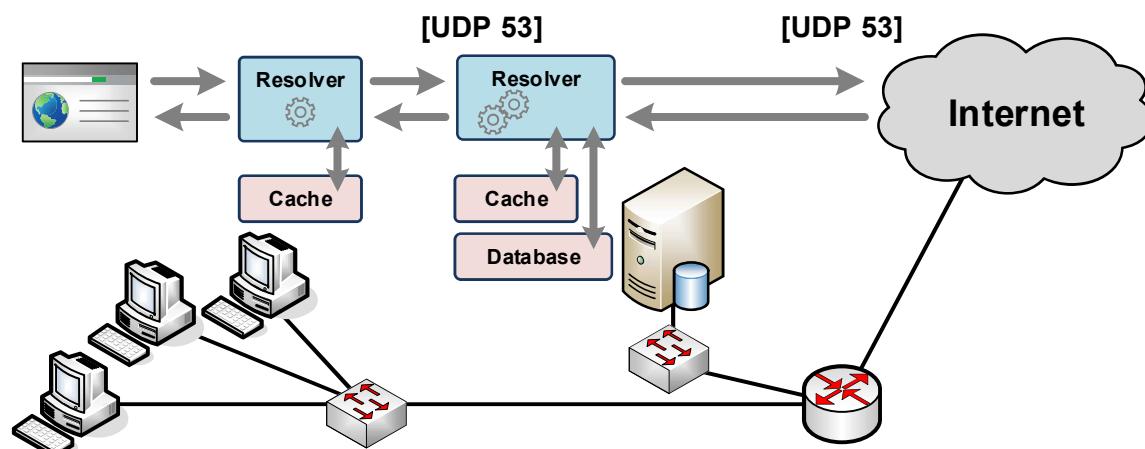
# Razrešavanje imena

- DNS serveri razrešavaju upite klijenata
  - Uređaji imaju lokalno podešene DNS servere kojima šalju upite
  - Windows - „Preferred“ i „Alternate“ DNS serveri (ne treba mešati sa primarnim i sekundarnim DNS serverima)



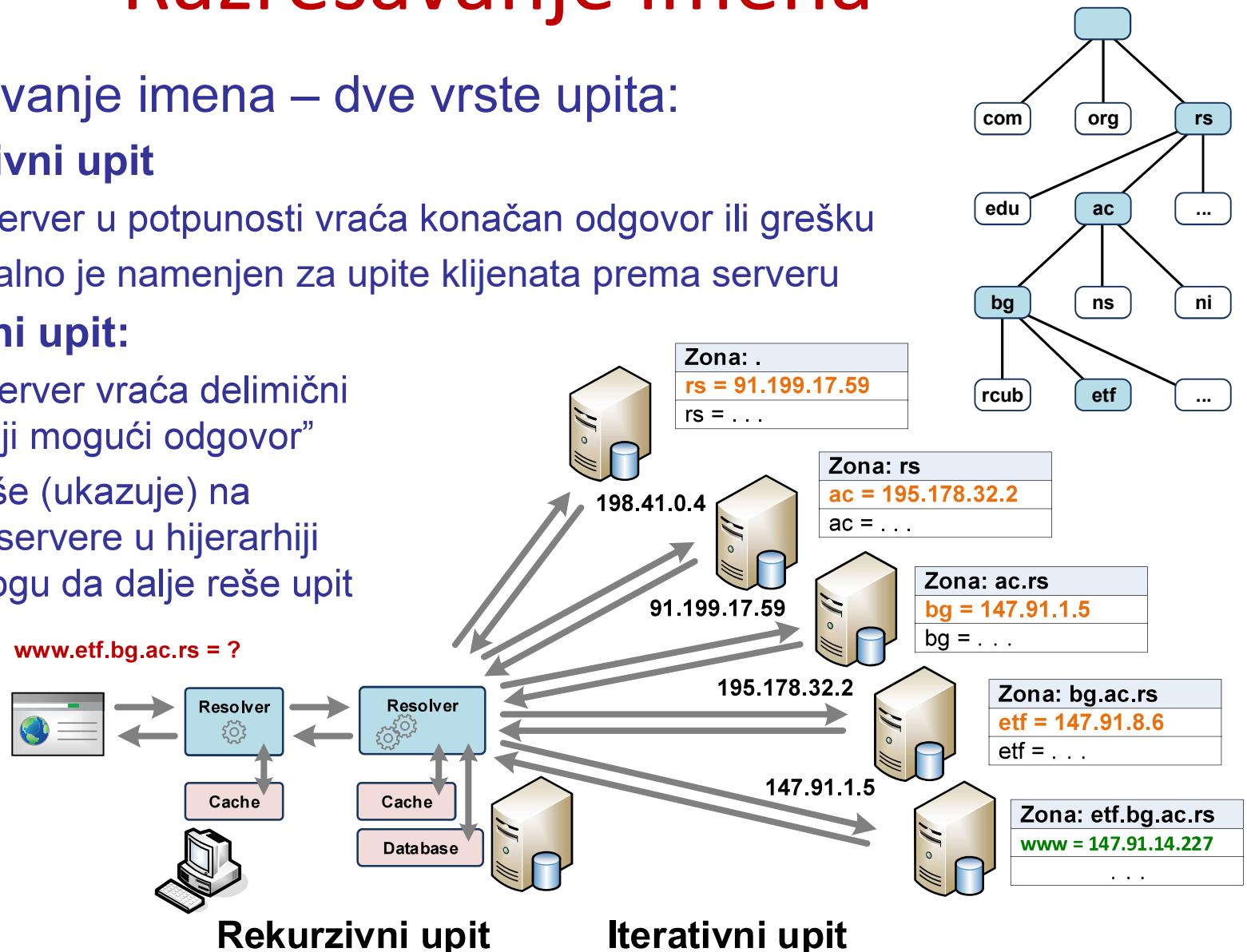
# Razrešavanje imena

- Razrešavanje imena – nalaženje IP adrese za zadato ime
- **DNS Resolver**
  - Deo DNS softvera koji razrešava imena (uparuje nazine sa IP adresama)
  - Na strani klijenta – ako podataka nema u lokalnom kešu:
    - Šalje se upit lokalno podešenom DNS serveru (UDP/TCP port 53) (nije primarni DNS servera!)
  - Na strani servera – ako podataka nema u lokalnom kešu ili bazi zona
    - Šalje se upit drugim DNS serverima, autoritativnih za pripadajući domen (primerni ili sekundarni serveri za određene domene)



# Razrešavanje imena

- Razrešavanje imena – dve vrste upita:
  - **Rekurzivni upit**
    - DNS server u potpunosti vraća konačan odgovor ili grešku
    - Generalno je namenjen za upite klijenata prema serveru
  - **Iterativni upit:**
    - DNS server vraća delimični “najbolji mogući odgovor”
    - Referiše (ukazuje) na druge servere u hijerarhiji koji mogu da dalje reše upit

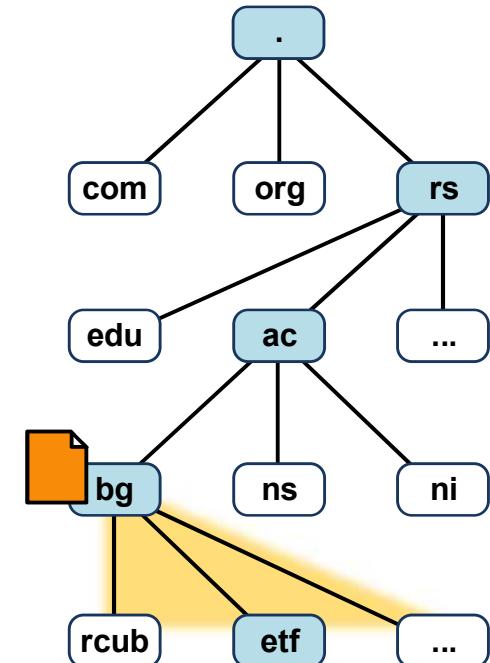


# Definisanje zona

- Zona – tekstualni (ASCII) fajl
- *Resource record (RR)*
  - Osnovna jedinica podataka
    - Pojedinačan zapis u zoni
  - Sadrže informacije o imenima, adresama, ali i druge parametre
  - Sintaksa:

Name	Time_to_live	Class	Type	Value
------	--------------	-------	------	-------
  - Name – naziv podatka (domen ili host adresa)
  - Time\_to\_live – vreme validnosti podatka u kešu, u sekundama
    - Primer: 86400 – jedan dan
  - Class – za Internet uvek oznaka “IN”
  - Type – tip RR podatka
    - SOA, NS, MX, A, AAAA, PTR...
  - Value – vrednost koja se pridružuje RR (npr. adresa, naziv itd.)
  - Primeri:

rte.etf.bg.ac.rs.	86400	IN	A	147.91.8.42
rte.etf.rs.	86400	IN	A	147.91.8.42



# *Resource records – vrste*

- *Resource Records - RR:*
  - SOA – početak zone (*Start of Authority*)
  - NS – definisanje DNS servera za domen
  - MX – definisanje adrese mejl servera za domen
  - A – definisanje mapiranja imena uređaja u IPv4 adresu
  - AAAA record – definisanje mapiranja imena uređaja u IPv6 adresu
  - CNAME (*Canonical Name*) – uvođenje alternativnih naziva (alias)
  - PTR (*Pointer*) – definisanje mapiranja IP adrese u ime (reverzno)

# SOA zapis

- **SOA (Start of Authority)** – definiše se na početku svake zone i sadrži:
  - Naziv primarnog DNS servera – informativni podatak
  - Email adresa DNS admina (sa znakom tačke umesto "@") – informativno!
  - **Serial** – serijski broj (verziju) zona fajla
    - Preporučen format: yyyyymmddnn
    - Mora da se inkrementira prilikom svake promena, da bi sekundarni serveri znali da je nastala nova verzija koju treba preuzeti
- **Refresh**
  - Posle koliko sekundi sekundarni DNS proverava primarni da li ima promena, tj. da li je Serial povećan (preporuka: od 20min do 12h)
- **Retry**
  - Ako je neuspela prethodna provera, posle koliko sekundi se ponavlja (preporuka: od 15min do 2h)
- **Expire**
  - Koliko dugo u sekundama DNS čuva zone učitane od primernog DNS (preporuka: od 14d do 31d)
- **Minimum TTL**
  - Koliko dugo se rekordi iz zone čuvaju u lokalnom kešu drugih DNS servera (preporuka: od 1d do 5d)

# SOA zapis

- Primer:

```
$ORIGIN .
; podrazumevani domen ako se ne navede tačna na kraju naziva
bg.ac.rs      IN SOA    NS1.NIC.RS. HOSTMASTER.BG.AC.RS. (
                2019042000 ; serial (yyyymmddnn)
                10800     ; refresh (3 hours)
                3600      ; retry (1 hour)
                2419200   ; expire (4 weeks)
                86400     ; minimum (1 day)
                )

bg.ac.rs      IN SOA    NS1.NIC.RS. HOSTMASTER.BG.AC.RS. (
                2019042000      ; serial (yyyymmddnn)
                3h            ; refresh (3 hours)
                30M           ; retry (30 mnutes)
                3W12h         ; expiry (3 weeks + 12 hours)
                1d            ; minimum (1 day)
                )
```

# NS, MX i A

- NS polje definiše autoritativne DNS servera za tekuću zonu ili poddomene
- MX polje definiše email server za tekuću zonu ili poddomene
- A polje definiše adresu za navedeno ime ili predefinisani server za tekuću zonu

```
bg.ac.rs.          IN SOA  ns.rcub.bg.ac.rs. helpdesk.rcub.bg.ac.rs. (  
                           2011032502 ; serial  
                           10800    ; refresh (3 hours)  
                           3600     ; retry (1 hour)  
                           604800   ; expire (1 week)  
                           86400    ; minimum (1 day)  
                           )  
                           NS      147.91.1.5           ; autoritativni server za zonu  
                           NS      147.91.1.7           ; autoritativni server za zonu  
                           NS      ns1.uns.ac.rs.       ; autoritativni server za zonu  
                           NS      ban.junis.ni.ac.rs. ; autoritativni server za zonu  
                           NS      ns.unic.kg.ac.rs.   ; autoritativni server za zonu  
                           NS      ns.etf.bg.ac.rs.    ; autoritativni server za zonu  
                           MX      147.91.79.3         ; predefinisani email server za zonu  
                           A       147.91.79.3         ; predefinisani veb server za zonu  
  
etf      IN NS      ns.etf.bg.ac.rs. ; uvodi se novi poddomen  
          IN NS      ns.rcub.bg.ac.rs. ; sa autoritativnim serveri  
  
rcub    IN NS      ns.ni.ac.rs.       ; uvodi se novi poddomen  
          IN NS      ns.rcub.bg.ac.rs. ; sa autoritativnim serveri  
  
www     IN A       147.91.79.3        ; adresa veb servera
```

# Glue Record

- *Glue record* – IP adresa DNS servera pod-domena, definisana u zoni domen
  - Ako se za pod-domen navodi DNS server preko imena, obavezno mora da bude definisana i IP adresa tog DNS servera (jer ime servera sadrži poddomen, koji taj server treba da se razreši)

```
bg.ac.rs          IN SOA  ns.rcub.bg.ac.rs. helpdesk.rcub.bg.ac.rs. (  
....  
  
etf      IN NS           ns.etf.bg.ac.rs. ; uvodi se novi poddomen  
          IN NS           ns.rcub.bg.ac.rs. ; sa autoritativnim serveri  
ns.etf   IN A            147.91.8.6       ; glue record - adresa servera  
  
rcub    IN NS           ns.ni.ac.rs.      ; uvodi se novi poddomen  
          IN NS           ns.rcub.bg.ac.rs. ; sa autoritativnim serveri  
ns.rcub  IN A            147.91.1.5       ; glue record - adresa servera
```

# CNAME – *Canonical Name*

- Uvođenje alternativnih naziva za već definisane nazine (*alias*)
- Prednosti:
  - Česta je potreba da se isti uređaj imenuje na više načina
  - Definisanje samo jedne adrese (A zapis) i više naziva (CNAME zapisi)
- Nedostaci:
  - Upit za alias se razrešava u dva koraka
    - Vraćanje „originalnog“ naziva (na koji se referiše alias u CNAME zapisu)
    - Vraćanje IP adrese za originalni zapis (iz A zapisa)

```
etf.bg.ac.rs.          IN SOA ns.rcub.bg.ac.rs. helpdesk.rcub.bg.ac.rs. (  
    . . .  
proxy-web           IN  A             147.91.14.227 ; adresa veb servera  
www                 IN  CNAME        proxy-web       ; alias
```

# PRT - Inverzni DNS

- Mapiranje IP adresa u nazive
- Kreiran je domen in-addr.arpa, u kojem su sve IP adrese u inverznom *dotted-decimal* formatu:
  - Adresa 147.91.1.7 se mapira u 7.1.91.147.in-addr.arpa
- Koriste se PTR tipovi *resource record-a*

```
$ORIGIN 91.147.in-addr.arpa.  
1      IN    SOA    ns.rcub.bg.ac.rs. helpdesk.rcub.bg.ac.rs. (  
                           2011050501 ; version  
                           3600       ; Refresh 3 hours  
                           3600       ; Retry 1 hour  
                           360000    ; Expire 100 hours  
                           86400     ; Minimum 24 hours  
                           )  
                           IN      NS      ns.rcub.bg.ac.rs.  
                           IN      NS      ns.etf.bg.ac.rs.  
                           IN      NS      gaea.rcub.bg.ac.rs.  
  
$ORIGIN 1.91.147.in-addr.arpa.  
5          IN    PTR    ns.rcub.bg.ac.rs.  
7          IN    PTR    gaea.rcub.bg.ac.rs.  
18         IN    PTR    webhost.rcub.bg.ac.rs.
```

# Zakup i održavanje domena

- DNS provajderi – onlajn kupovina i održavanje domena
  - Npr. GoDaddy

Records

Last updated 30/01/2019 14:21

Type	Name	Value	TTL	
A	@	62.75.253.171	600 seconds	 
A				 
Host *		Points to *	TTL *	
server		91.148.116.50	1/2 Hour	 
CNAME	www	@	1 Hour	
CNAME	_domainconnect	_domainconnect.gd.domaincontrol.com	1 Hour	
NS	@	ns15.domaincontrol.com	1 Hour	
NS	@	ns16.domaincontrol.com	1 Hour	
SOA	@	Primary nameserver: ns15.domaincontrol.com.	600 seconds	

# DNS alati - *nslookup*

```
C:\ Windows\System32>nslookup www.etf.bg.ac.rs
Server:  anycast-dns.sbb.rs
Address: 89.216.1.30
```

```
Non-authoritative answer:
Name: proxy-web.etf.bg.ac.rs
Address: 147.91.14.227
Aliases: www.etf.bg.ac.rs
```

```
C:\Users\Slavko>nslookup www.etf.rs
Server: anycast-dns.sbb.rs
Address: 89.216.1.30
```

```
Non-authoritative answer:
Name: proxy-web.etf.rs
Address: 147.91.14.227
Aliases: www.etf.rs
```

```
C:\Windows\System32>ping www.bg.ac.rs

Pinging www.bg.ac.rs [147.91.79.142] with 32 bytes of data:
Reply from 147.91.79.142: bytes=32 time<1ms TTL=61
Reply from 147.91.79.142: bytes=32 time=1ms TTL=61
```

# DNS alati - *dig*

- dig - komanda na Linux operativnom sistemu

```
[user]$ dig
; <>>> DiG 9.2.3 <<>>
;; global options:  printcmd
;; Got answer:
;; ->>HEADER<<- opcode: QUERY, status: NOERROR, id: 1024
;; flags: qr rd ra; QUERY: 1, ANSWER: 13, AUTHORITY: 0, ADDITIONAL: 13
;; QUESTION SECTION:
;.

;; ANSWER SECTION:
.          52787  IN      NS      A.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      B.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      C.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      D.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      E.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      F.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      G.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      H.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      I.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      J.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      K.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      L.ROOT-SERVERS.NET.
.          52787  IN      NS      M.ROOT-SERVERS.NET.

;; ADDITIONAL SECTION:
A.ROOT-SERVERS.NET.    325126  IN      A       198.41.0.4
B.ROOT-SERVERS.NET.    163166  IN      A       192.228.79.201
C.ROOT-SERVERS.NET.    163166  IN      A       192.33.4.12
...
...
```

# DNS alati - *dig*

```
[user]$ dig www.etf.bg.ac.rs

;; QUESTION SECTION:
;www.etf.bg.ac.rs.          IN      A

;; ANSWER SECTION:
www.etf.bg.ac.rs.    10800   IN      CNAME   proxy-web.etf.bg.ac.rs.
proxy-web.etf.bg.ac.rs. 10800   IN      A       147.91.14.227

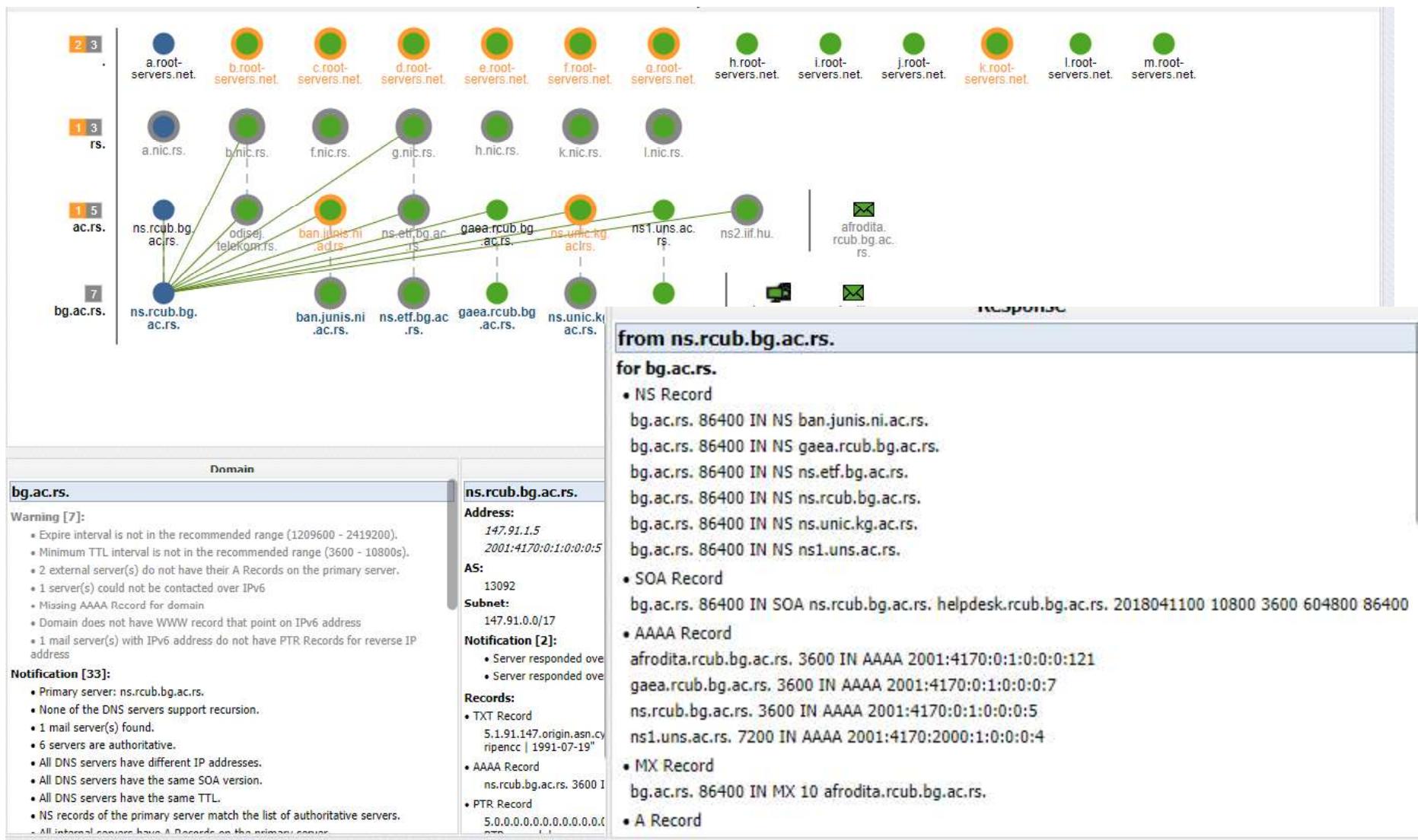
;; AUTHORITY SECTION:
etf.bg.ac.rs.        10800   IN      NS      ns1.nic.rs.
etf.bg.ac.rs.        10800   IN      NS      ns2.etf.bg.ac.rs.
etf.bg.ac.rs.        10800   IN      NS      ns.rcub.bg.ac.rs.
etf.bg.ac.rs.        10800   IN      NS      ns.etf.bg.ac.rs.

;; ADDITIONAL SECTION:
ns.etf.bg.ac.rs.     10800   IN      A       147.91.8.6
ns.rcub.bg.ac.rs.   3600    IN      A       147.91.1.5
ns.rcub.bg.ac.rs.   3600    IN      AAAA   2001:4170:0:1::5
ns1.nic.rs.         3069    IN      A       147.91.8.6
ns2.etf.bg.ac.rs.   10800   IN      A       147.91.8.62

;; Query time: 0 msec
;; SERVER: 147.91.1.5#53(147.91.1.5)
;; WHEN: Tue Apr 28 15:26:29 CEST 2020
;; MSG SIZE  rcvd: 256
```

# DNS alati - NetVizura

- NetVizura - <http://live.netvizura.com/dns/>



# DNS alati – NetVizura

- Primer

**Graph**

**Domain**

**ukim.edu.mk.**

**Warning [7]:**

- Expire interval is not in the recommended range (1209600 - 2419200).
- There is no A Record on the primary DNS server for 1 external mail server(s).
- 2 DNS server(s) do not have PTR Record(s) for reverse IP addresses.
- 1 mail server(s) do not have PTR Records.
- 2 external server(s) do not have A Records on the primary parent server.
- 2 server(s) could not be contacted over IPv6
- None of mailserver could not be contacted over IPv6

**Notification [25]:**

- Primary server: ns1.ukim.mk.
- None of the DNS servers support recursion.
- 1 mail server(s) found.
- 4 servers are authoritative.
- All DNS servers have different IP addresses.
- All DNS servers have the same SOA version.
- All DNS servers have the same TTL.
- NS records of the primary server match the list of authoritative servers.

**Server**

**ns1.ukim.mk.**

**Address:** 194.149.131.2  
2a02:e48:0:2::0:0:13

**AS:** 5379

**Subnet:** 194.149.128.0/19

**Notification [2]:**

- Server responded over the UDP protocol.
- Server responded over the TCP protocol.

**Records:**

- TXT Record**  
2.131.149.194.origin.asn.cymru.com. 14400 IN TXT "5379 | 194.149.128.0/19 | MK | ripencce | 1996-01-03"
- AAAA Record**  
ns1.ukim.mk. 3600 IN AAAA 2a02:e48:0:2:0:0:13
- PTR Record**  
2.131.149.194.in-addr.arpa. 3600 IN PTR ns1.ukim.mk.

**Response**

**from ns1.ukim.mk.**

**for feit.ukim.edu.mk.**

- NS Record**  
feit.ukim.edu.mk. 86400 IN NS naniza1.feil.ukim.edu.mk.  
feit.ukim.edu.mk. 86400 IN NS ns1.ukim.mk.  
feit.ukim.edu.mk. 86400 IN NS ns2.feil.ukim.edu.mk.
- SOA Record**  
feit.ukim.edu.mk. 86400 IN SOA naniza1.feil.ukim.edu.mk.  
cobe.naniza1.feil.ukim.edu.mk. 2018270301 28800 7200 604800 86400
- AAAA Record**  
naniza1.feil.ukim.edu.mk. 86400 IN AAAA 2a02:e48:0:0:0:0:2  
ns1.ukim.mk. 3600 IN AAAA 2a02:e48:0:2:0:0:13
- MX Record**  
feit.ukim.edu.mk. 86400 IN MX 10 dion.feil.ukim.edu.mk.
- A Record**  
dion.feil.ukim.edu.mk. 86400 IN A 194.149.144.199  
feit.ukim.edu.mk. 86400 IN A 194.149.144.34  
naniza1.feil.ukim.edu.mk. 86400 IN A 194.149.144.24  
ns1.ukim.mk. 3600 IN A 194.149.131.2

# DNS alati – NetVizura

- Primer

**Graph**

**Domain**

**me.**

**Error [2]:**

- Unable to determine primary DNS server.
- No mail servers found.

**Warning [3]:**

- Serial version number of SOA record is not in the recommended format.
- Refresh interval is shorter than the retry interval.
- Expire interval is not in the recommended range (1209600 - 2419200).

**Notification [21]:**

- Using the a0.nic.me. as substitute for primary DNS server.
- None of the DNS servers support recursion.
- 5 servers are authoritative.
- Primary server not found. Skipped duplicate server check.
- All DNS servers have the same SOA version.
- All DNS servers have the same TTL.
- Primary server not found. Skipped check for NS Records on the primary server.
- Primary server not found. Skipped A record from primary server for internal servers check.
- Primary server not found. Skipped A record from primary server for external servers check.
- All servers have public IP addresses.
- None of the DNS servers have CNAME Record.
- None of the DNS servers support public zone transfer.
- Some DNS servers are in the same AS.

**Server**

**a2.nic.me.**

**Address:**  
199.249.119.1  
2001:500:47:0:0:0:1

**AS:**  
42

**Subnet:**  
199.249.119.0/24

**Notification [2]:**

- Server responded over the UDP protocol.
- Server responded over the TCP protocol.

**Records:**

- TXT Record  
1.119.249.199.origin.asn.cymru.com. 14400 IN TXT "42 | 199.249.119.0/24 | CA | arin | 2008-10-09"
- AAAA Record  
a2.nic.me. 21600 IN AAAA 2001:500:47:0:0:0:1
- PTR Record  
1.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.7.4.0.0.0.0.5.0.1.0.0.2.ip6.arpa. 3600 IN PTR a2.nic.me.  
1.119.249.199.in-addr.arpa. 3600 IN PTR a2.nic.me.
- A Record  
a2.nic.me. 21600 IN A 199.249.119.1
- A Record from parent (a.root-servers.net.)

**Response**

**from a2.nic.me.**

**for me. (referral)**

- NS Record  
me. 86400 IN NS ns.edu.me.  
me. 86400 IN NS ns2.edu.me.
- A Record  
ns.edu.me. 86400 IN A 89.188.39.222  
ns2.edu.me. 86400 IN A 89.188.39.223

**for me.**

- SOA Record  
me. 900 IN SOA ns.nic.me. noc.afilias-nst.info. 2010559646 3600 3600 3600000 8400
- NS Record  
me. 86400 IN NS a0.nic.me.  
me. 86400 IN NS a2.nic.me.  
me. 86400 IN NS b0.nic.me.  
me. 86400 IN NS b2.nic.me.  
me. 86400 IN NS c0.nic.me.

# DNS alati – NetVizura

- Primer

**Graph**

**Domain**

**ff.bg.ac.rs.**

**Error [4]:**

- No mail servers found.
- 1 non authoritative server(s) found (rudjer.ff.bg.ac.rs.)
- Primary server did not respond to the NS record request. TTL check skipped.
- 1 server(s) did not respond over the UDP protocol.

**Warning [9]:**

- Only one authoritative DNS server is available; risk of failure.
- NS records of the primary server do not match the list of authoritative servers.
- All DNS servers are in the same AS.
- All DNS servers are in the same subnet.
- 1 server(s) did not respond over the TCP protocol.
- 2 server(s) could not be contacted over IPv6
- Missing A Record for domain
- Missing AAAA Record for domain
- Domain does not have WWW record that point on IPv6 address

**Notification [16]:**

- Primary server: rudjer.ff.bg.ac.rs.
- None of the DNS servers support recursion.
- All DNS servers have different IP addresses.
- All servers have public IP addresses.
- None of the DNS servers have CNAME Record.
- None of the DNS servers support public zone transfer.

**Server**

**fizika.ff.bg.ac.rs.**

**Address:**  
147.91.68.4

**AS:**  
13092

**Subnet:**  
147.91.0.0/17

**Critical [2]:**

- Resolving for ff.bg.ac.rs. failed: timeout
- Server did not respond over the UDP protocol

**Warning [3]:**

- Server did not respond to the AA flag request. Authority check skipped. Please try again.
- Server did not respond over the TCP protocol.
- Server could not be contacted over IPv6

**Notification [1]:**

- Server did not respond to public zone transfer request.

**Records:**

- TXT Record:**  
4.68.91.147.origin.asn.cymru.com. 14400 IN TXT "13092 | 147.91.0.0/17 | RS | ripenc | 1991-07-19"
- PTR Record:**  
4.68.91.147.in-addr.arpa. 3600 IN PTR fizika.ff.bg.ac.rs.
- A Record from parent (ns.rcub.bg.ac.rs.)

**Response**

**from fizika.ff.bg.ac.rs.**

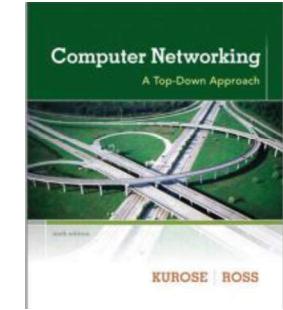
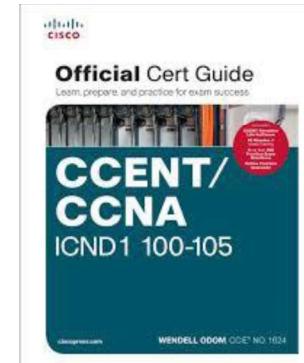
**for ff.bg.ac.rs.**

No data for the request.

**for ff.bg.ac.rs.**

# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press
- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET



# Dodela IP adresa

- IP adresa, maska i *default gateway* se dodeljuje svakom uređaju u IP mreži
- **Statičko dodeljivanje IP adresa**
  - Manuelno dodeljivanje fiksnih IP adresa
    - Konfiguracija sa svakom uređaju
    - Mogućnost grešaka – preklapanje adresa, pogrešna maska
    - Nefleksibilno – promena maske ili *default gateway*-a – mora na svim uređajima
    - Ne mogu se podržati privremeni (*ad-hoc*) korisnici – WiFi, VPN itd.
- **Dinamičko dodeljivanje IP adresa**
  - Automatsko dodeljivanje IP adrese, maske i *default gateway*
    - Konfiguracija na jednom mestu – serveru (određeni opseg IP adresa)
    - Smanjena mogućnost greške
    - Fleksibilno rešenje
    - Korisnik ne mora da bude poznat unapred – WiFi, VPN itd.
- Protokoli automatske dodele adresa
  - RARP – *Revers Address Resolution Protocol*
  - BOOTP – *BOOTstrap Protocol*
  - DHCP – *Dynamic Host Configuration Protocol*

# RARP - Reverse ARP

- Prvobitni protokol dodele IP adresa, RFC 903, 1984.
- Obrnuta (reversna) uloga u odnosu na ARP protokol:
  - ARP – nalazi se MAC adresu na osnovu IP adrese
  - RARP – nalazi se IP adresu na osnovu MAC adrese
- Inicijalno je bio namenjen za specifične uređaje i radne stanice bez diska (*diskless*)
  - Operativni sistem i parametri (IP adresa) su se preuzimali sa servera
- RARP server
  - Manuelno se definiše mapiranje MAC adresa u određene IP adrese
  - Radne stanice po uključivanju pronađuju RARP server
  - RARP server na osnovu MAC adrese uređaja pronađuje uparenu IP adresu

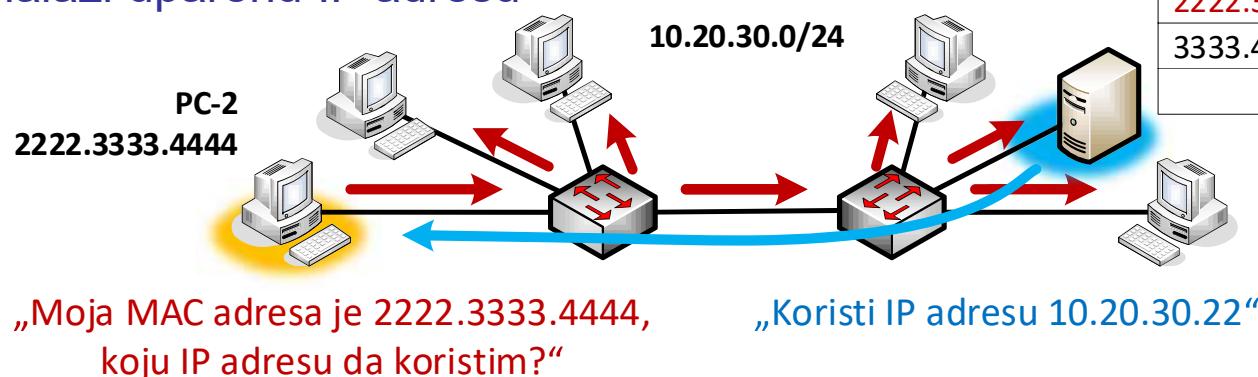


Tabela mapiranja	
1111.2222.3333	10.20.30.11
<b>2222.3333.4444</b>	<b>10.20.30.22</b>
3333.4444.5555	10.20.30.33
...	...

# ARP/RARP format zaglavlja

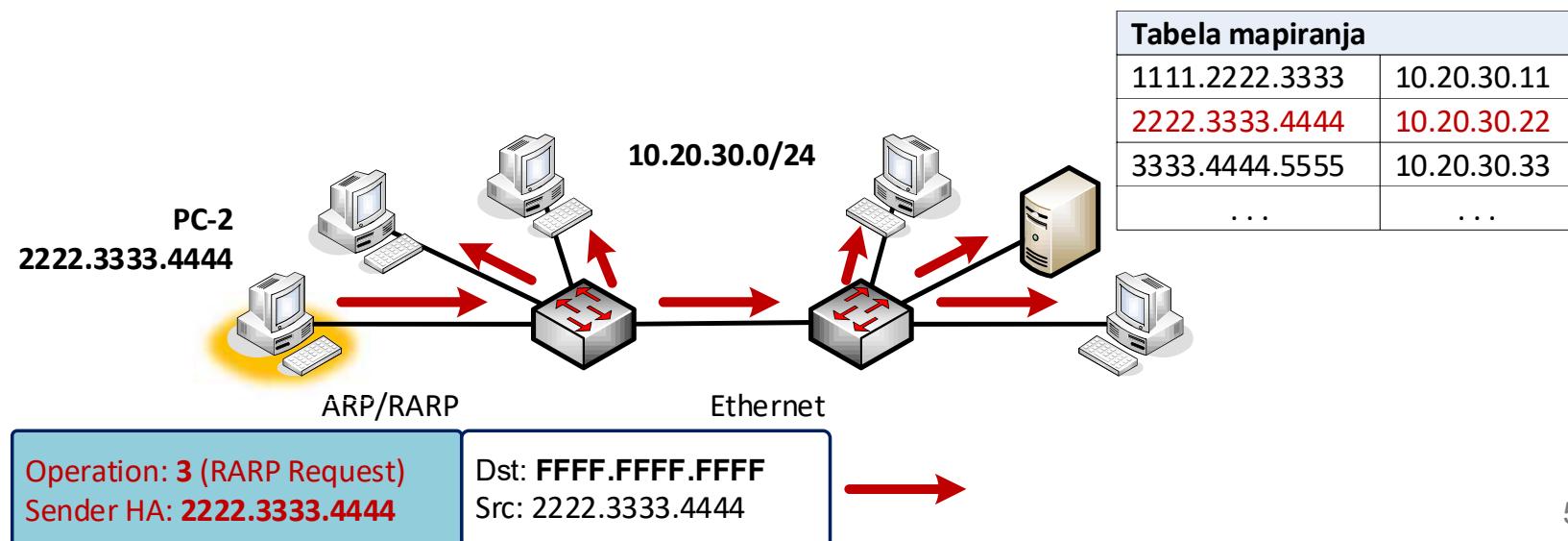
- Protokol L3 nivoa
  - Poruke se enkapsuliraju u Ethernet okvire
- Format zaglavlja – isti kao kod ARP-a
- Polje *Operation* – određuje ARP ili RARP funkcije
  - „1“ – ARP Request
  - „2“ – ARP Reply
  - „3“ – RARP Request
  - „4“ – RARP Reply

1. bajt	2. bajt	3. bajt	4. bajt
Hardware Type		Protocol Type (0x0800)	
HLEN	PLEN	Operation	
Sender HA (1..4)			
Sender HA (5..6)		Sender IP (1..2)	
Sender IP (3..4)		Target HA (0..1)	
Target HA (3..6)			
Target IP (1..4)			

# RARP – princip rada

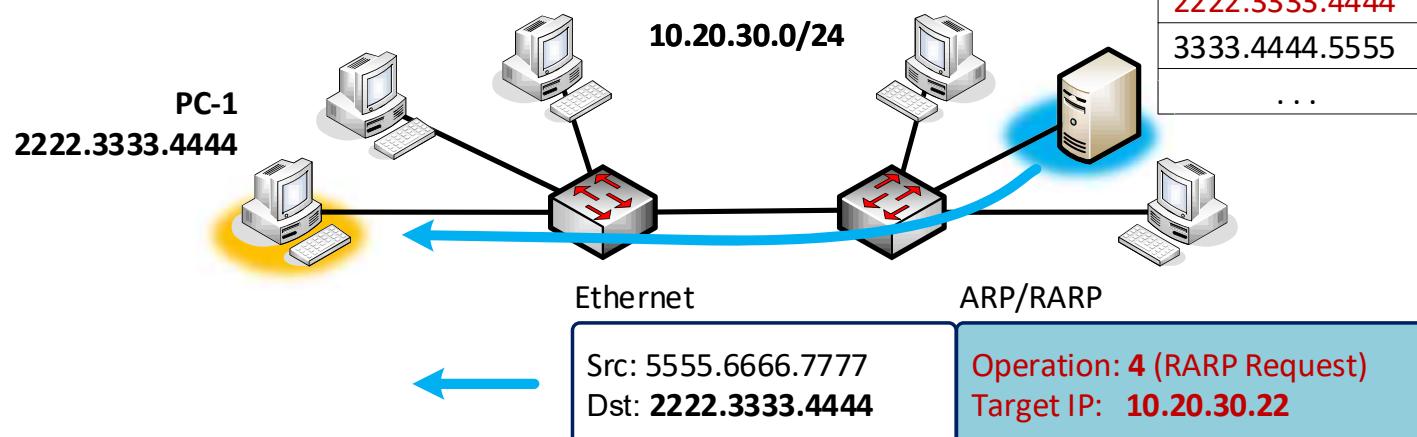
- **1. korak – RARP Request**

- Uređaj po uključivanju generiše RARP Request paket
  - paket se šalje na MAC brodcast adresu (FFFF.FFFF.FFFF)
- Svi uređaji primaju RARP Request paket
  - Samo ga RARP server prepoznaće, ostali ga odbacuju
- RARP server
  - Na osnovu MAC adrese u tabeli definicija mapiranja nalazi IP adresu



# RARP – princip rada

- **2. korak – RARP Reply**
  - RARP server generiše odgovor – RARP *Reply* paket
    - Paket sadrži dodeljenu IP adresu
    - Paket se šalje na unikast MAC adresu uređaja koji je inicirao zahtev
  - Uređaj koji je inicirao zahtev prihvata paket, uzima IP adresu i počinje da je koristi
- Osnovni nedostaci
  - Ne dodeljuje se maska i *Default Gateway*
  - Komunikaciju samo na nivou L2 segmentu, ne i sa drugim mrežama



# BOOTP - *Bootstrap Protocol*

- BOOTP - *Bootstrap Protocol*, RFC 951, 1985
- Dodeljivanje IP adrese na osnovu MAC adrese (namena kao i RARP)
- BOOTP server
  - Manuelno se definiše mapiranje MAC adresa u određene IP adrese
- Dodatno, BOOTP može da pošalje i:
  - *Default Gateway*
  - Masku
  - DNS server itd.
- Protokol aplikativnog nivao, koristi UDP
  - UDP port 67 na serveru
  - UDP port 68 na klijentima

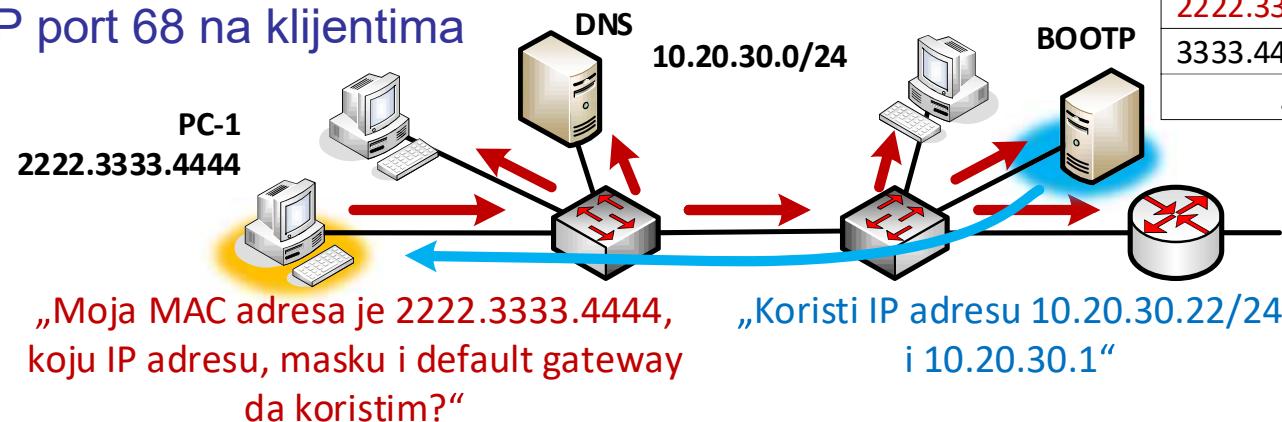
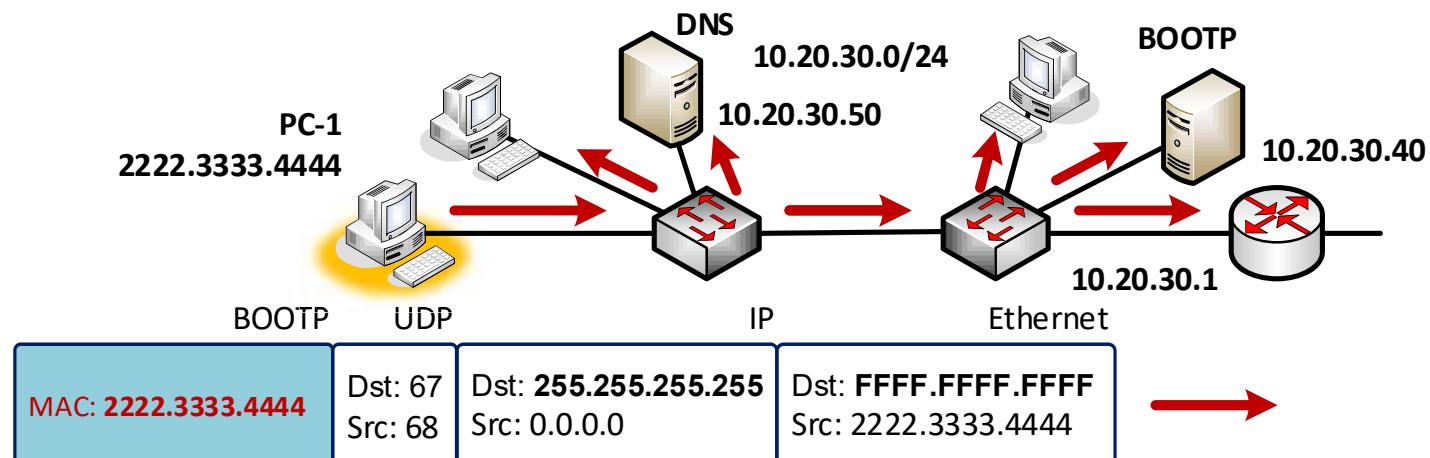


Tabela mapiranja	
1111.2222.3333	10.20.30.11
<b>2222.3333.4444</b>	<b>10.20.30.22</b>
3333.4444.5555	10.20.30.33
...	...

# BOOTP – princip rada

## • Korak 1 - BOOT-REQUEST poruka

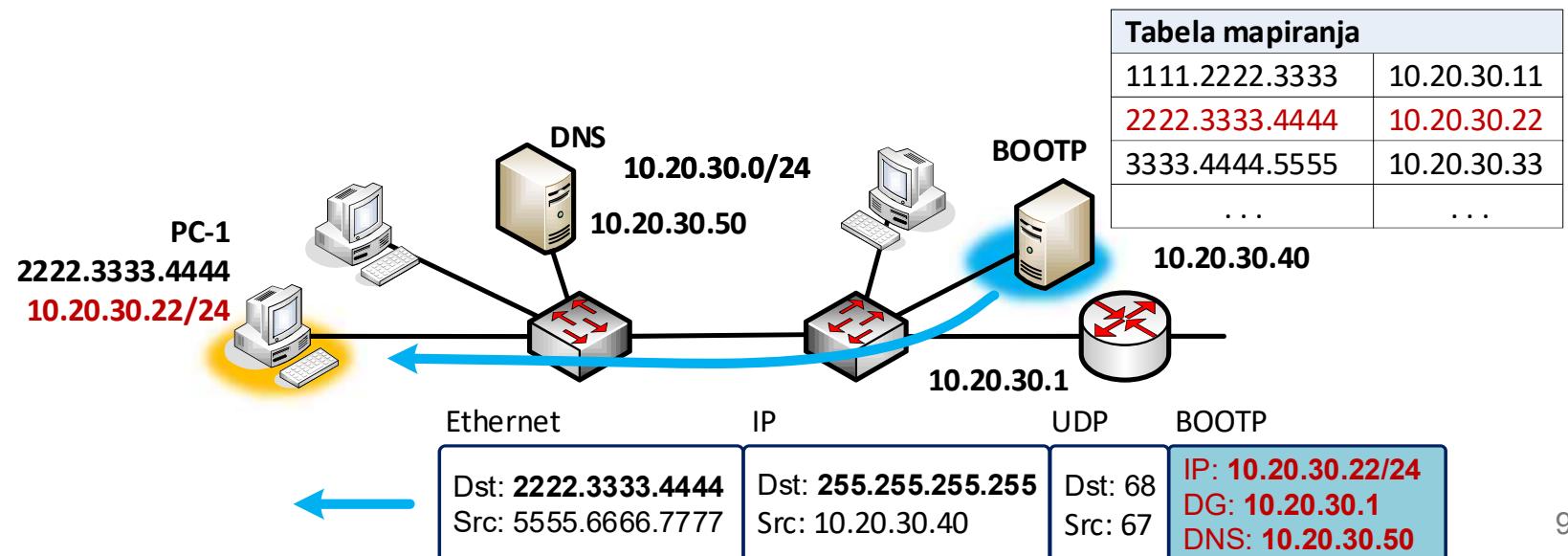
- Uređaj po uključivanju generiše BOOT-REQUEST poruku
  - Sadrži MAC adresu pošiljaoca
  - Enkapsulira se u UDP poruku, odredišni port 67
  - UDP se enkapsulira u IP poruku, brodcast odredišna IP adresa
  - IP se enkapsulira u Ethernet okvir, brodcast odredišna MAC adresa
- Svi uređaji primaju BOOT-REQUEST paket na L2 i L3 nivou, prosleđuju ga na L4 nivo
- BOOTP server preuzima poruku na UDP portu 67, ostali je odbacuju



# BOOTP – princip rada

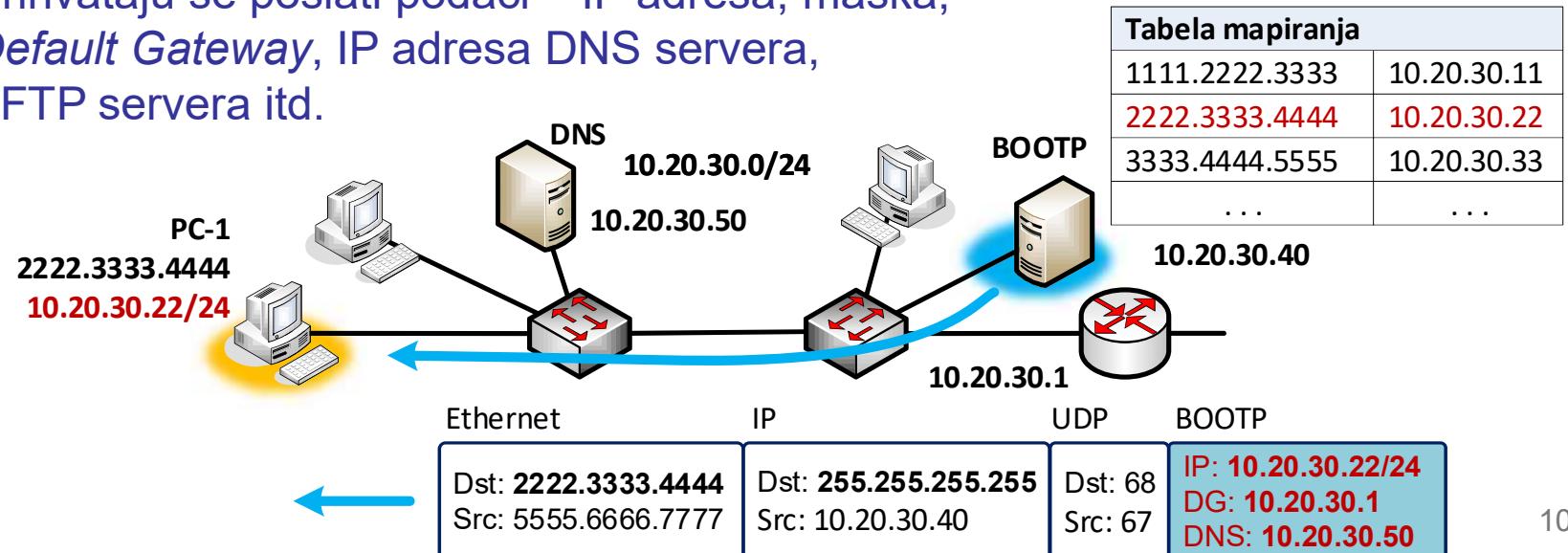
## • Korak 2 - BOOT-REPLY poruka

- BOOTP server za MAC adresu se iz tabele mapiranja nalazi IP adresu
- Kreira se BOOT-REPLY poruka, koja sadrži:
  - Dodeljenu IP adresu i masku uređaja
  - *Default Gateway*
  - IP adresu DNS servera
  - IP adresu TFTP servera (*Trivial File Transfer Protocol*) itd.



# BOOTP – princip rada

- **Korak 2 (nastavak)**
  - BOOT-REPLY poruka
    - Enkapsulira se u UDP poruku, odredišni port 68
    - UDP se enkapsulira u IP poruku, brodcast odredišna IP adresa
    - IP se enkapsulira u Ethernet okvir, unikast odredišna MAC adresa uređaja
  - Svi primaju poruke na L2 i L3 nivou
    - Samo odredišni uređaj „sluša“ na UDP portu 68
      - Ne može da se koristi slučajno izabrani klijentski port, jer bi on mogao da se javi i na drugim uređajima, pa bi poruke mogle da završe i na njima
    - Prihvataju se poslati podaci – IP adresa, maska, *Default Gateway*, IP adresa DNS servera, TFTP servera itd.



# BOOTP

- Osnovni nedostatak
  - Statičko dodeljivanje IP adresa na osnovu MAC adresa
- Posledice:
  - Potrebno je unapred poznavati MAC adrese korisnika
  - Manuelna konfiguracija za sve korisnike
  - Mapiranje “1-na-1”
  - Permanentna dodatak adresa
  - Ne mogu se podržati privremeni (*ad-hoc*) korisnici
    - Wireless, VPN...

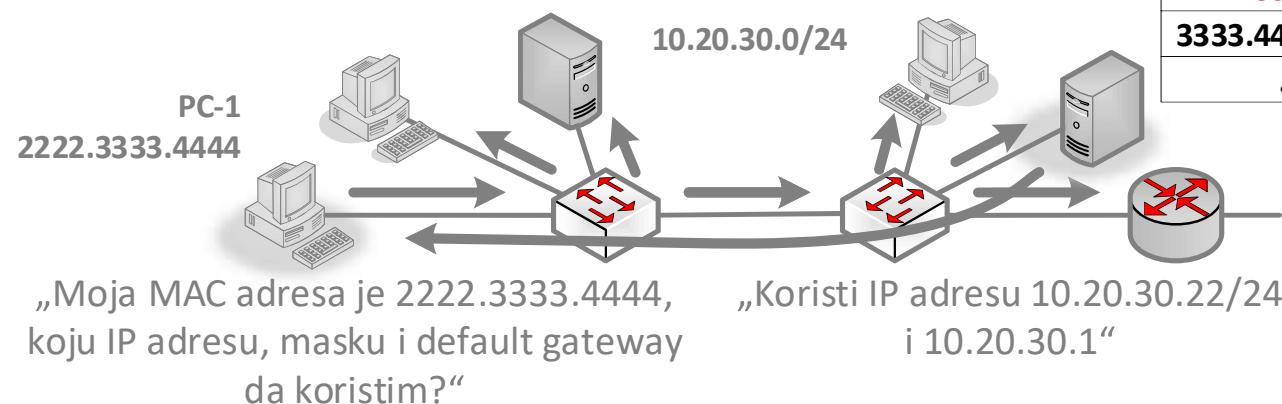
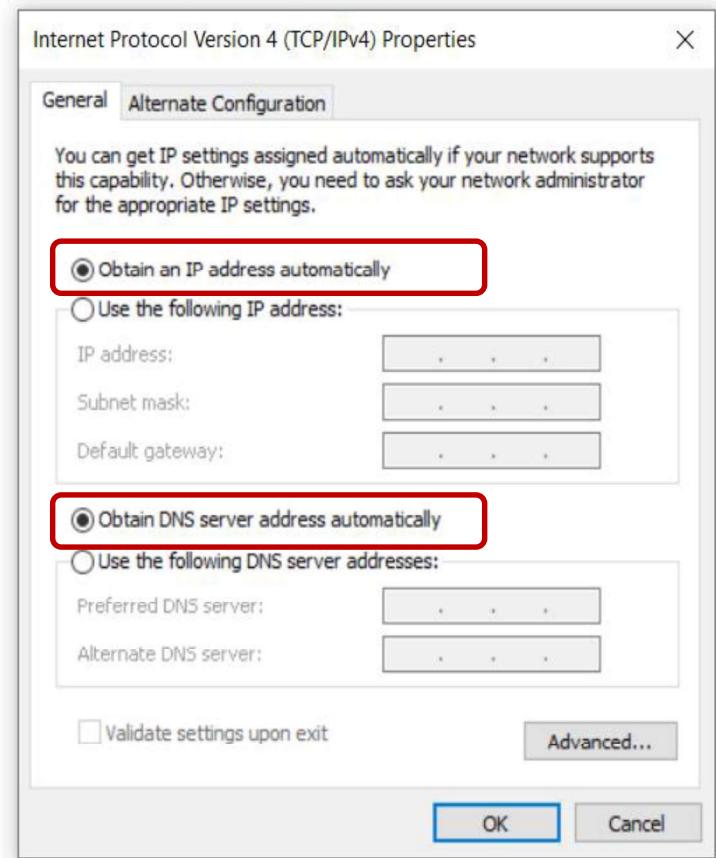


Tabela mapiranja	
1111.2222.3333	10.20.30.11
2222.3333.4444	10.20.30.22
3333.4444.5555	10.20.30.33
...	...

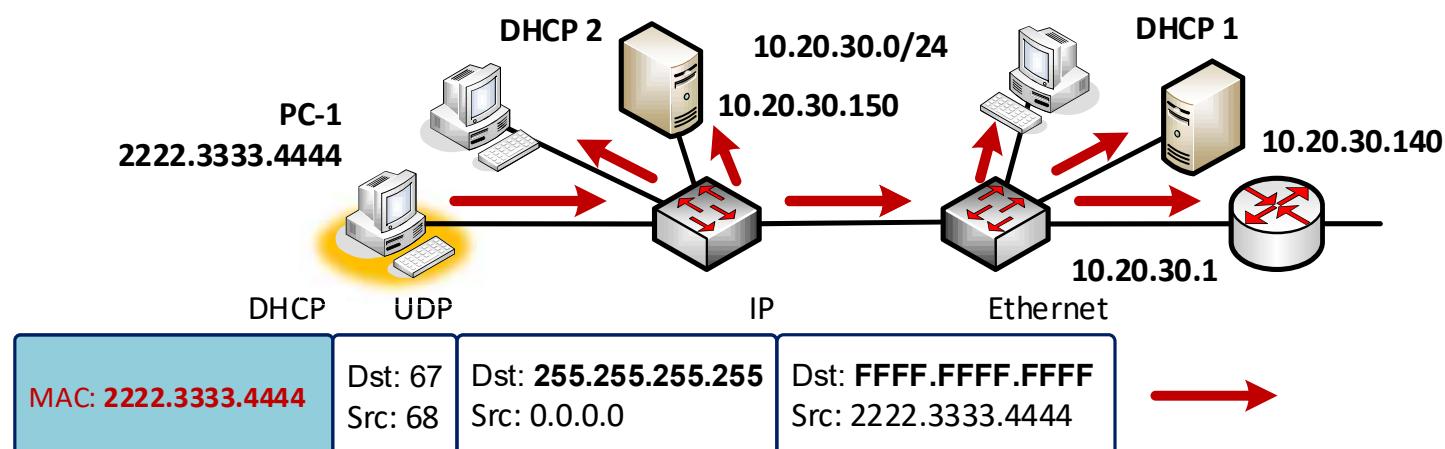
# DHCP

- DHCP - *Dynamic Host Configuration Protocol*
  - Unapređena varijanta BOOTP protokola
  - Sličnosti sa BOOTP
    - UDP portovi 67 i 68
    - Sličan format poruka
    - Slanje dodatnih parametara
  - Razlike u odnosu na BOOTP
    - **Dinamičko dodeljivanje IP adresa iz predefinisanog opsega**
    - Ograničen vremenski period važenja
    - Osim adrese i maske, može se dodeliti preko 20 različitih parametara
      - *Default Gateway*
      - DNS server
      - WINS naziv (*Windows Internet Name Service*)
      - itd.
    - Može da postoji više DHCP servera na jednoj mreži
    - DHCP proces u 4 koraka



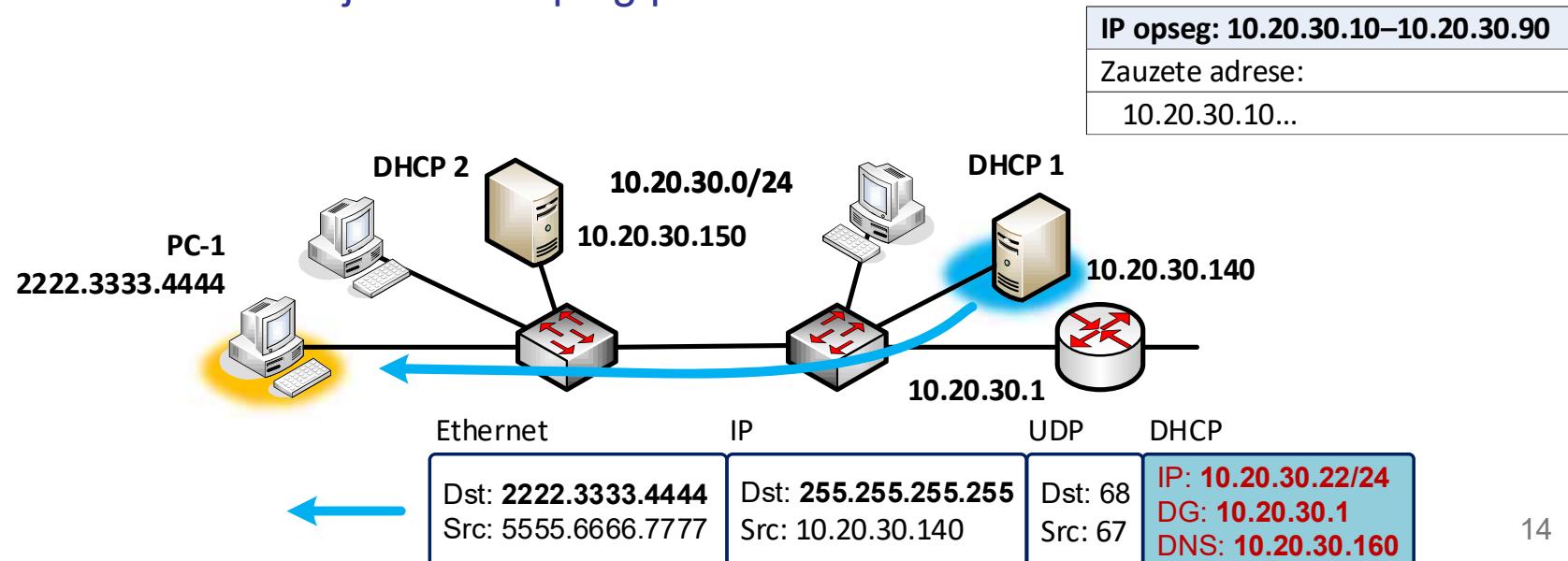
# DHCP – princip rada

- 1. korak – **DHCP-DISCOVER** poruka
  - Uredaj po uključivanju generiše **DHCP-DISCOVER** poruku
    - Sadrži MAC adresu pošiljaoca
    - Enkapsulira se u UDP poruku, odredišni port 67
    - UDP se enkapsulira u IP poruku, brodcast odredišna IP adresa
    - IP se enkapsulira u Ethernet okvir, brodcast odredišna MAC adresa
  - Svi uređaji primaju DHCP-DISCOVER paket na L2 i L3 nivou, prosleđuju ga na L4 nivo
  - Svi DHCP serveri preuzimaju poruku na UDP portu 67, ostali je odbacuju



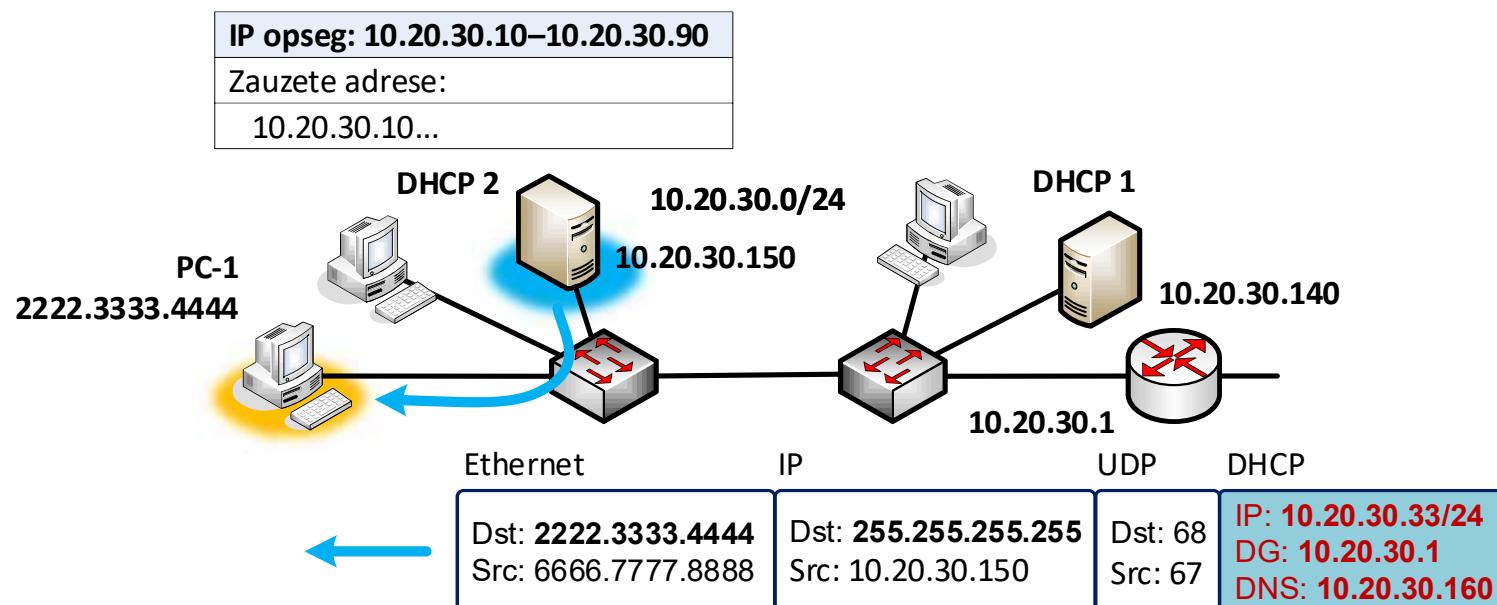
# DHCP – princip rada

- 2. korak – **DHCP-OFFER** poruka
  - DHCP server sprovodi sledeće:
    - Dodeljuje slobodnu IP adresu iz opsega rezervisanih IP adresa
    - Generiše se **DHCP-OFFER** poruku:
      - Izabrana IP adresa, maska, *default gateway*, DNS
      - Drugi opcioni parametri - TFTP server, WINS...
    - Poruka se enkapsulira u UDP paket, IP brodkast paket i MAC okvir (brodkast ili unikast, u zavisnosti od implementacije, fleg polja i drugih uslova)
  - DHCP server može da proveri da li je neka adresa zauzeta slanjem ICMP ping paketa



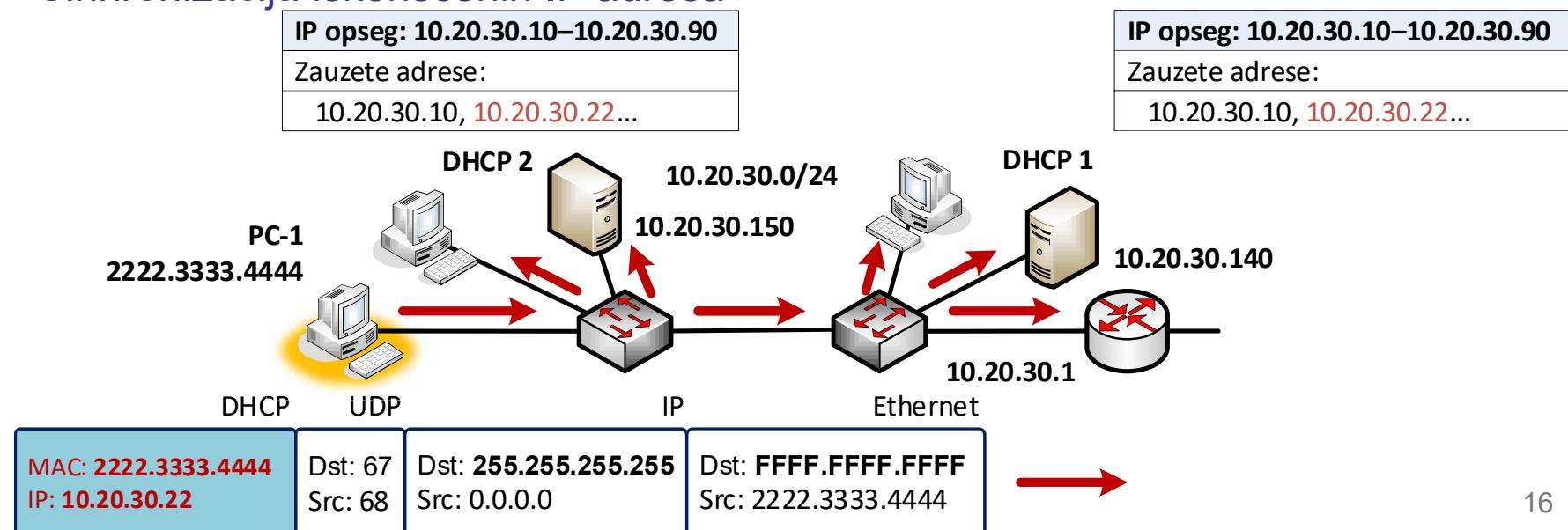
# DHCP – princip rada

- 2. korak – **DHCP-OFFER** poruka
  - Drugi DHCP server (ako postoji)
    - Na isti način šalje svoju **DHCP-OFFER** poruku
    - Nezavisno bira slobodnu IP adresu, koja može da bude različita
  - Samo početni uređaj prima okvire i preuzima DHCP-OFFER poruku



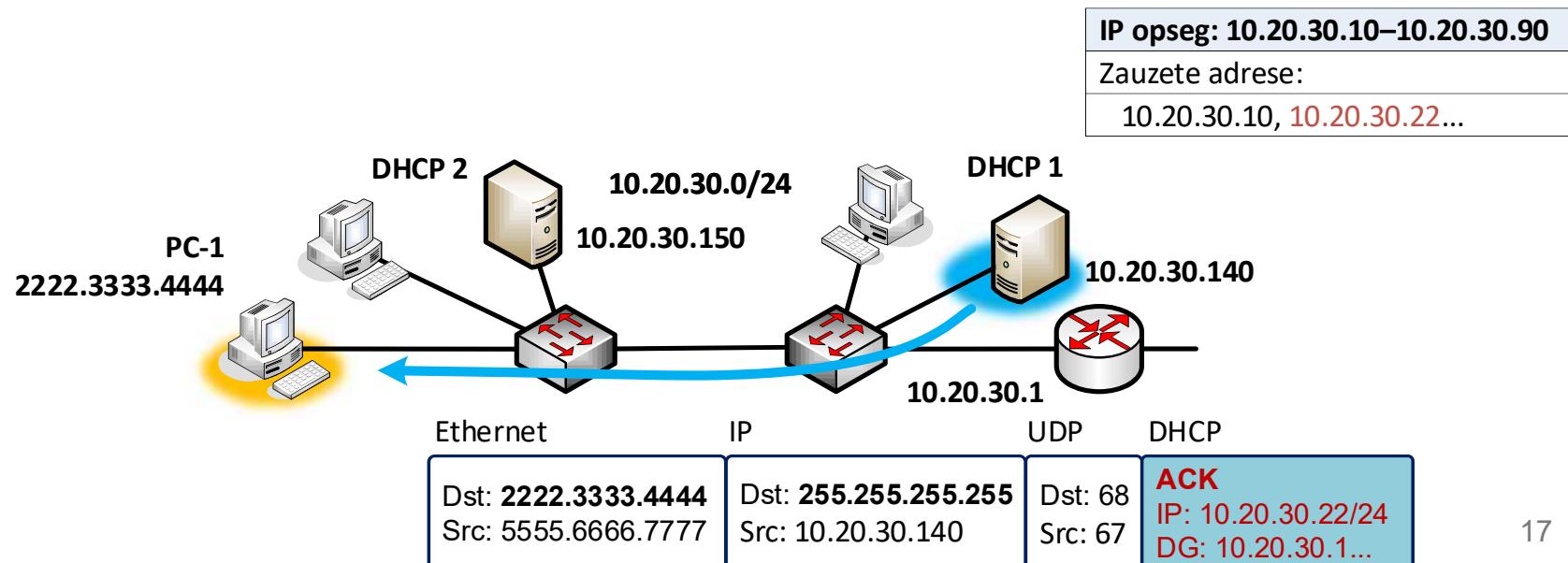
# DHCP – princip rada

- 3. korak - **DHCP-REQUEST** poruka
  - Početni uređaj prihvata IP adresu iz prve DHCP-OFFER poruke
  - **DHCP-REQUEST** poruka:
    - Sadrži IP adresu koja se zahteva za korišćenje, kao i ostale parametre
    - Enkapsulira se u UDP poruku, odredišni port 67
    - UDP se enkapsulira u IP poruku, brodcast odredišna IP adresa
    - IP se enkapsulira u Ethernet okvir, brodcast odredišna MAC adresa
- Oba DHCP servera prihvataju DHCP-REQUEST poruku
  - Sinhronizacija iskorišćenih IP adresa



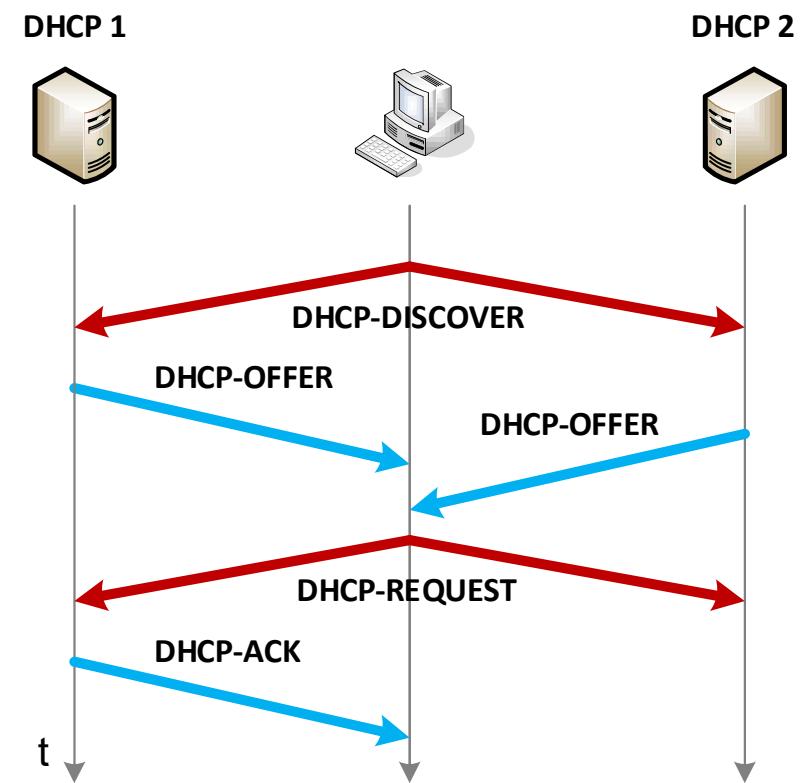
# DHCP – princip rada

- 4. korak – **DHCP-ACK** poruka
  - Svi DHCP serveri prihvataju DHCP-REQUEST poruku
  - Samo DHCP server koji je ponudio zahtevanu IP adresu generiše potvrdu – **DHCP-ACK** poruka
    - Poruka se šalje na brodcast IP adresu, unikast ili brodcast na L2 nivou, (u zavisnosti od implementacije, pojedinih opcija iz fleg polja i drugih uslova)
    - IP adresa se označava kao iskorišćena (na određeno vreme)
  - Početni uređaj prihvata DHCP-ACK poruku
    - Počinje da koristi dobijene parametre



# DHCP – princip rada

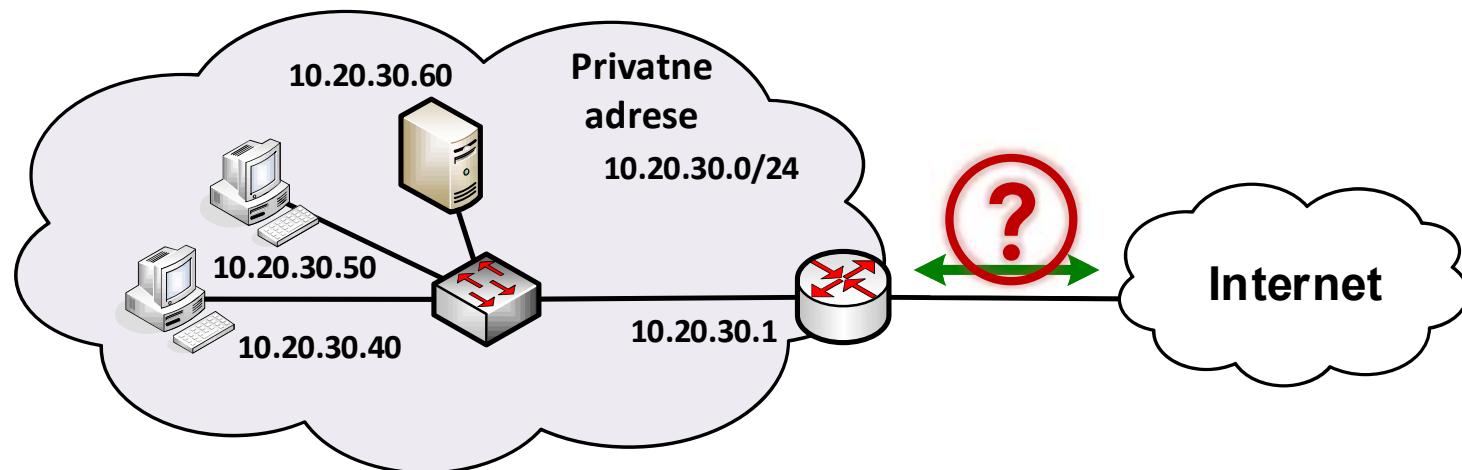
- 4. koraka
  1. DHCP-DISCOVER (brodcast)
  2. DHCP-OFFER (unicast)
  3. DHCP-REQUEST (brodcast)
  4. DHCP-ACK (unicast ili brodcast)



- Implementacija
  - DHCP serveri
    - Na istoj LAN mreži (brodcast domen)
  - DHCP na ruteru
    - Za sve pripadajuće LAN mreže

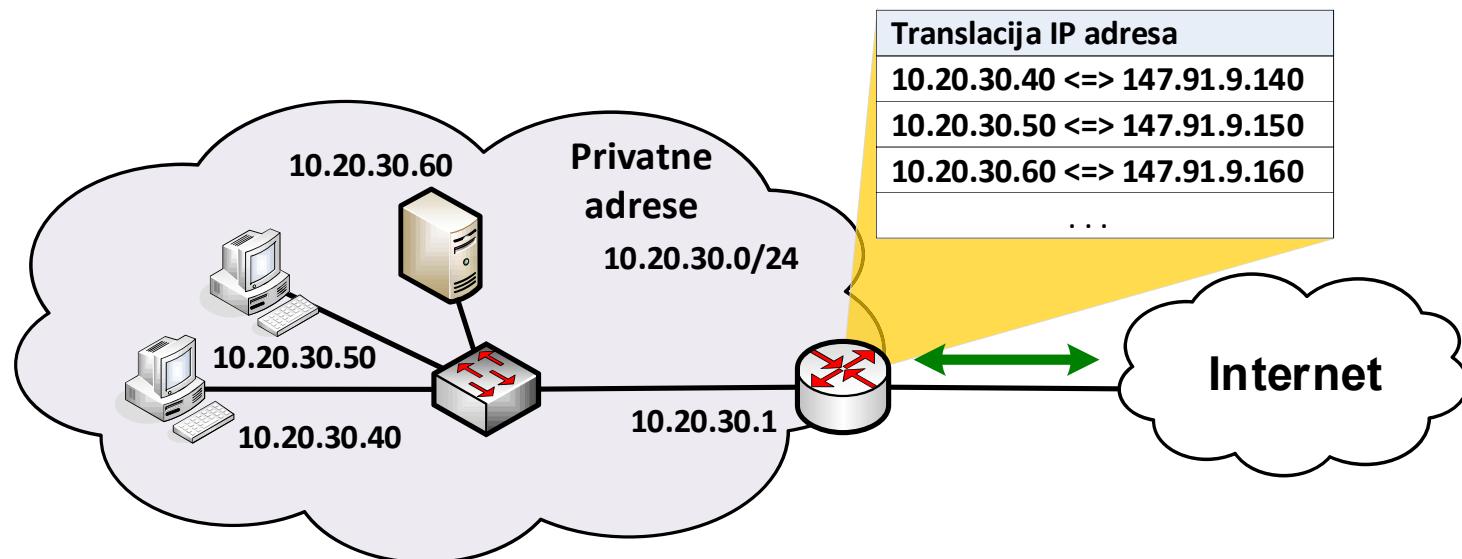
# NAT – Network Address Translation

- Privatne IP adrese
  - 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16
- Štede potrošnju javnih IP adresa
- Ne smeju da se oglase ne Internetu
- Kako omogućiti komunikaciju sa Internetom?



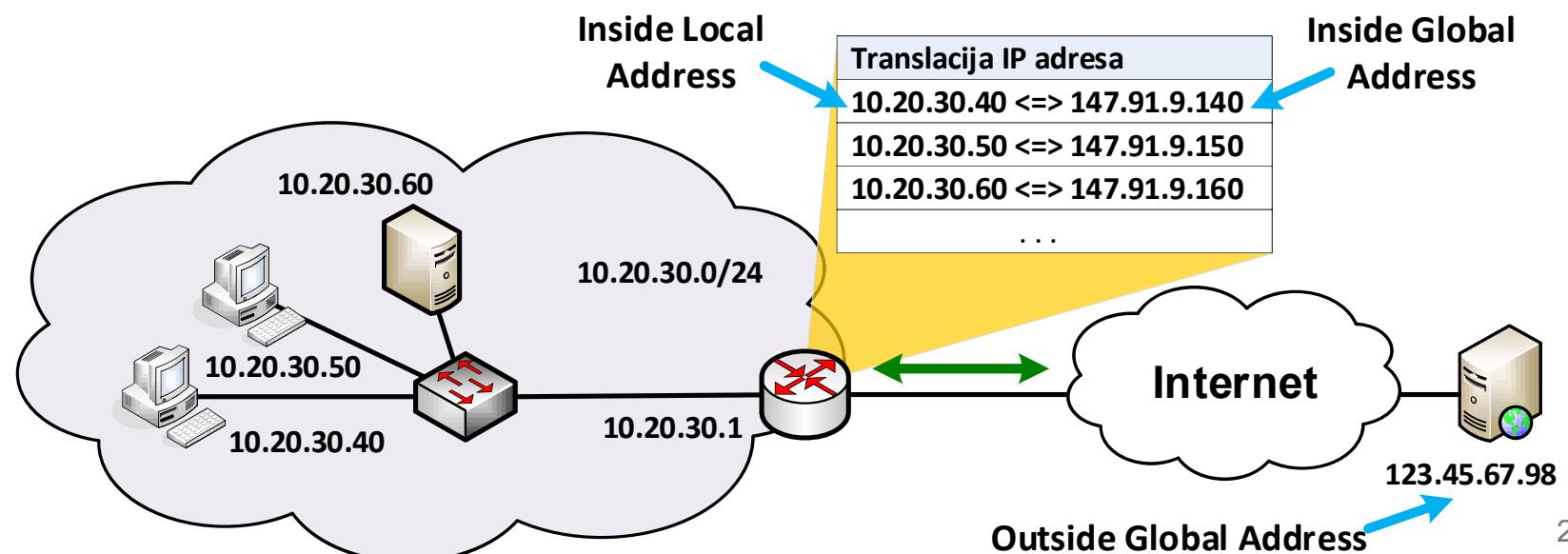
# NAT – Network Address Translation

- NAT – Network Address Translation
  - Translacija adresa
    - Pretvaranje IP adresa iz jednog skup adresa u drugi
  - Najčešća primena
    - Translacija privatnih adresa u javne (i obrnuto)
  - NAT se sprovodi na graničnom ruteru
    - Jedinstvena tačka povezivanja sa ostatom mreži



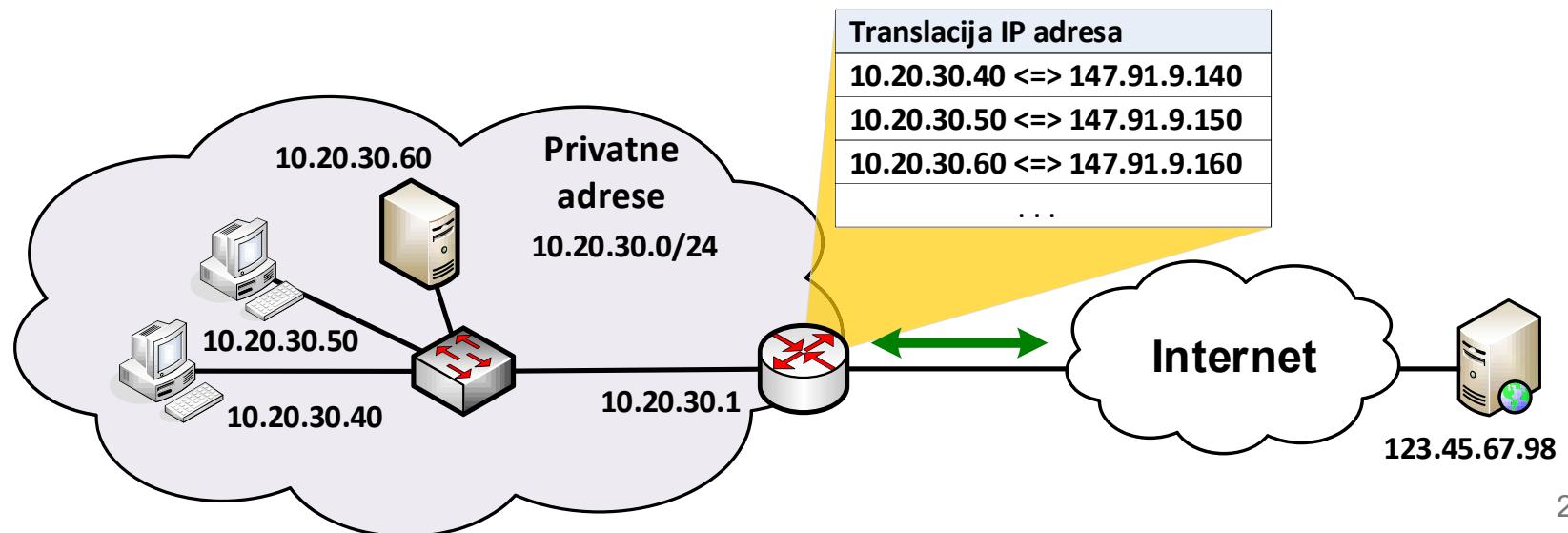
# NAT Terminologija

- **Inside Local Address**
  - Adresa dodeljena hostu na unutrašnjoj mreži čije se adrese transliraju
- **Inside Global Address**
  - Legitimna (Internet) IP adresa dodeljena od strane provajdera
  - Adresa u koju se pretvara *Inside Local* adresa
- **Outside Global Address**
  - IP adresa uređaja na spoljašnjoj mreži



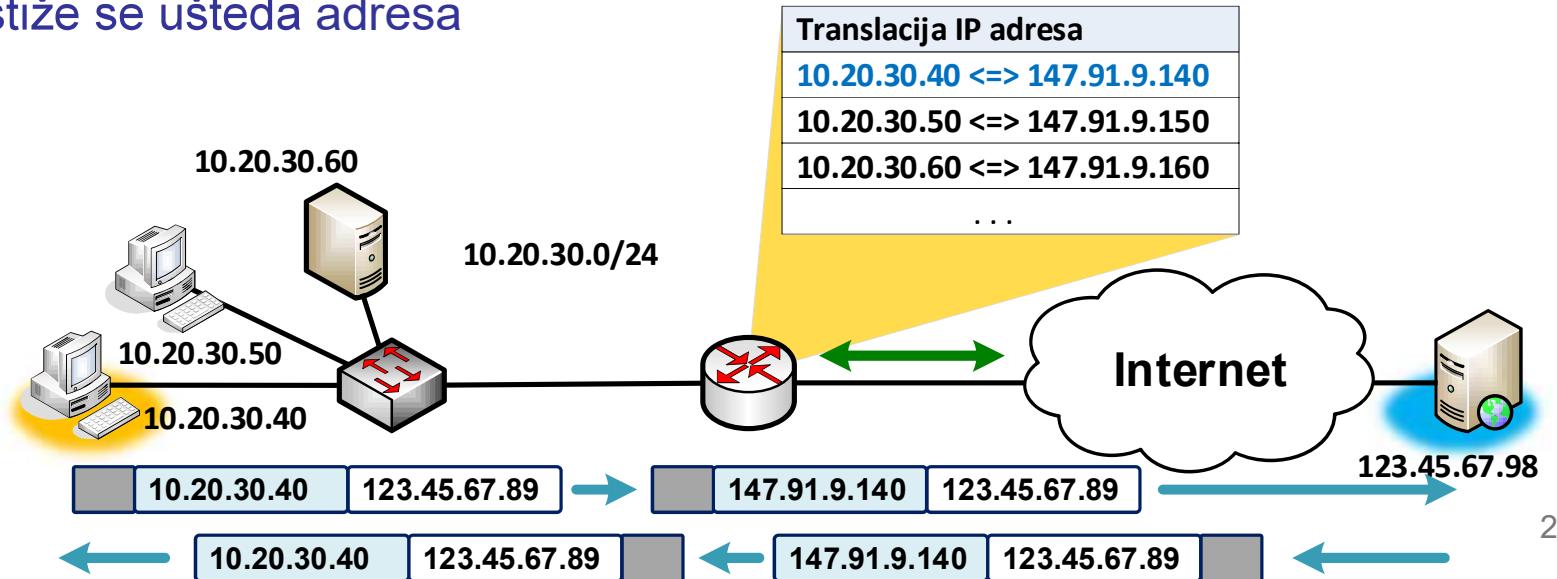
# Statički NAT

- Fiksno mapiranje „jedan-na-jedan“
  - Jedna lokalna adresa uvek se mapira u istu globalnu adresu
- NAT tabela
  - Unapred definisana pravila mapiranja – par lokalne i globalne adrese
- Inicijalizacija komunikacije iz unutrašnje mreže ka spolja
  - Uobičajeno ponašanje – klijenti u unutrašnjoj mreži, serveri u spoljašnjoj



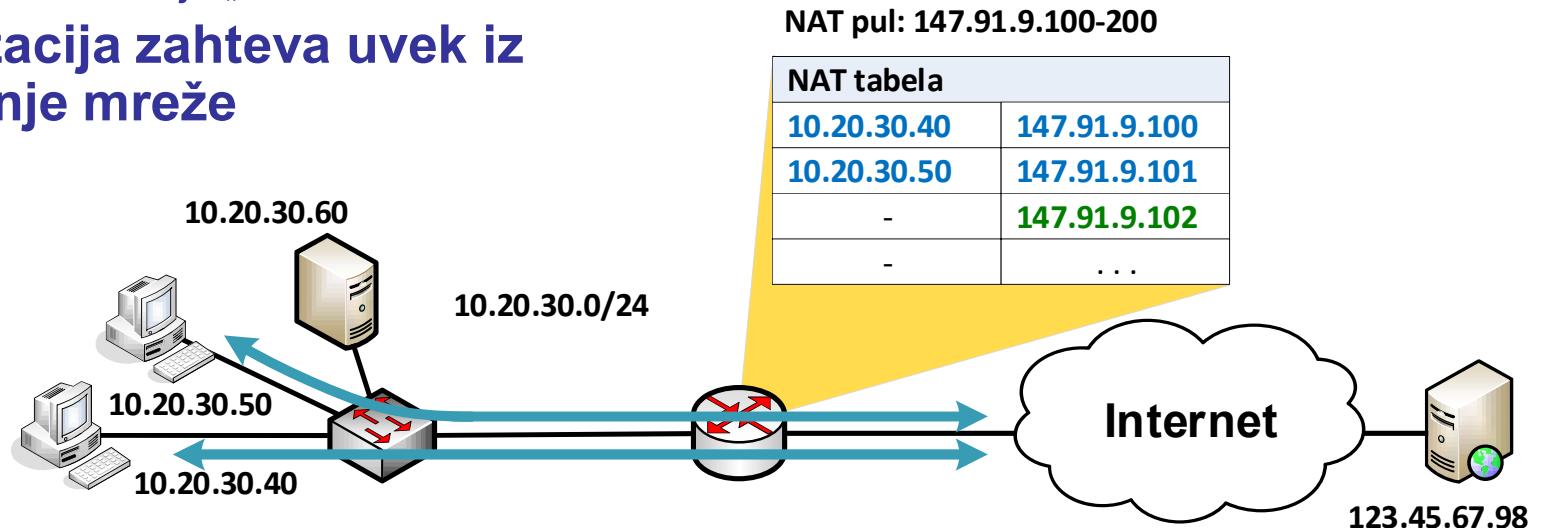
# Statički NAT

- Proces na ruteru
  - Iz unutrašnje ka spoljašnjoj:
    - Izvorišne lokalne adrese iz zaglavlja IP paketa se pretvaraju u globalne
  - Iz spoljašnje ka unutrašnjoj:
    - Odredišne globalne adrese iz zaglavlja IP paketa se pretvaraju u lokalne
- Prednost
  - Inicijalizacija komunikacije iz spoljne mreže ka unutrašnjoj
    - Serverima u unutrašnjoj mreži mogu da pristupaju klijenti iz spoljašnje mreže
- Nedostatak
  - Ne postiže se ušteda adresa



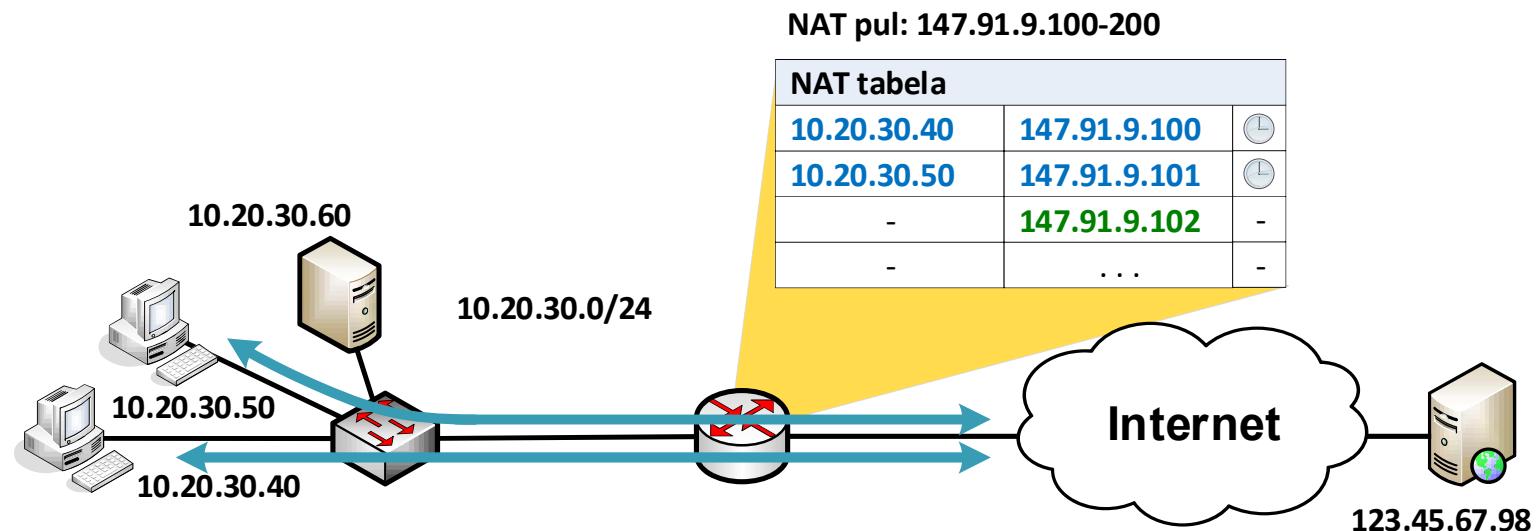
# Dinamički NAT

- Definiše se skup globalnih IP adresa, tzv. pul (*pool*)
- Pri komunikaciji iz unutrašnje mreže uzima se slobodna adresa
- NAT tabela se dinamički popunjava sa parom lokalne i globalne adrese
- U jednom trenutku jednu globalnu adresu može koristiti samo jedna lokalna
  - Maksimalni broj konekcija – broj adresa u NAT pulu
- Tokom vremena
  - Po završetku komunikacije briše se korišćeno mapiranje – oslobađa se adresa
  - Efekat - više unutrašnjih adresa se može mapirati u manji broj globalnih adresa
    - Ušteda adresa je „statistička“
- **Inicijalizacija zahteva uvek iz unutrašnje mreže**



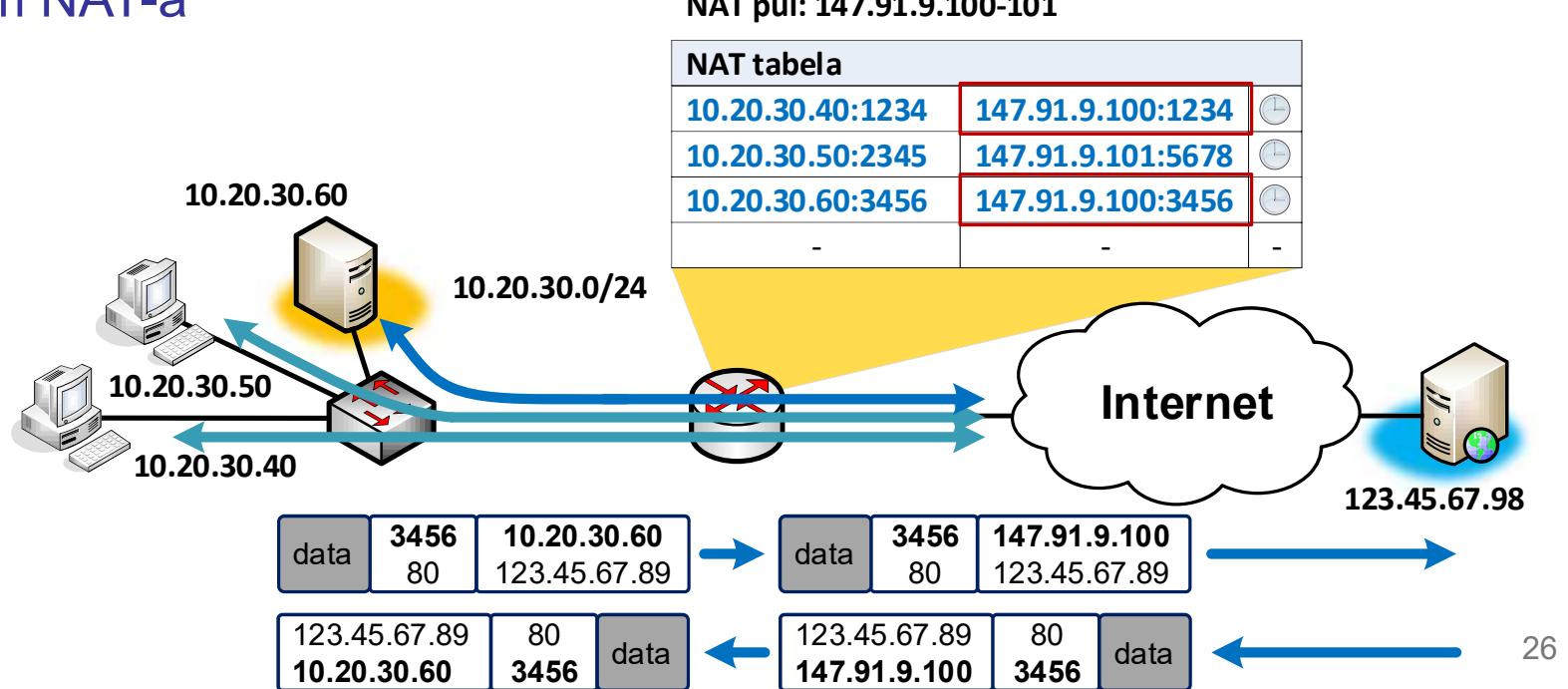
# Dinamički NAT

- Oslobođanje globalne adrese kada se komunikacija završi
  - TCP – može se prepoznati kada se sesije regularno zatvaraju, ali šta ako se sesija nasilno prekine (npr. jedan uređaj se ugasi)?
  - UDP – ne zna se koliko će da traje i da li ima još paketa, čak iako se ne koristi
  - ICMP – kratkotrajne sesije (npr. ping)
- Uvodi se tajmer za svaki red u NAT tabeli
  - Red se briše nakon isteka tajmera (*timeout*)



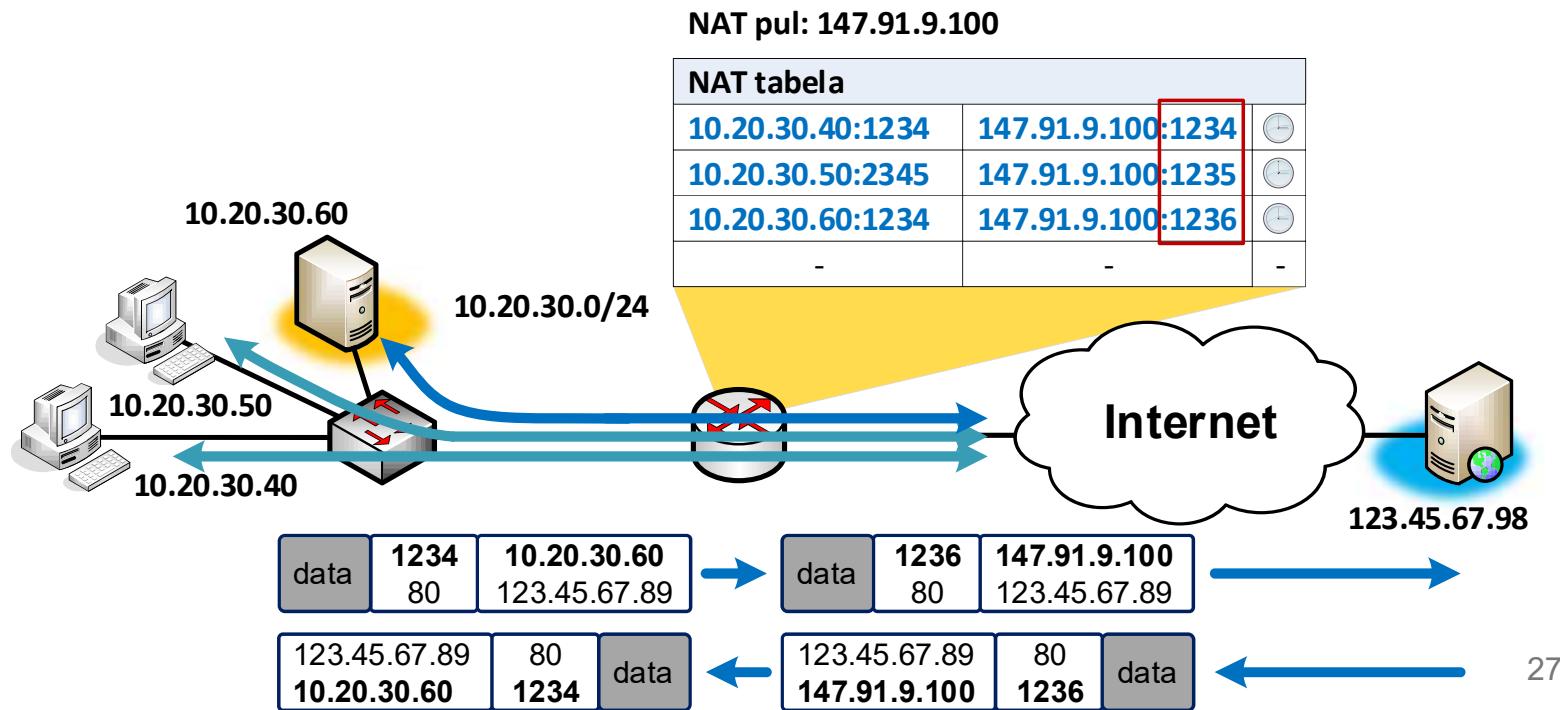
# Overload NAT

- Kako više lokalnih adresa **istovremeno** da koristi manji broj globalnih adresa?
  - Potrebne dodatne informacije za obezbeđivanje jednoznačnosti
  - Koristi se TCP i UDP port – **PAT (Port Address Translation)**
- Klijent mora da bude u unutrašnjoj mreži
  - Klijentski port se slučajno bira na strani klijenta, pa može i da se promeni prilikom NAT-a



# PAT sa jednom globalnom adresom

- Može da se koristi i samo jedna globalna adresa

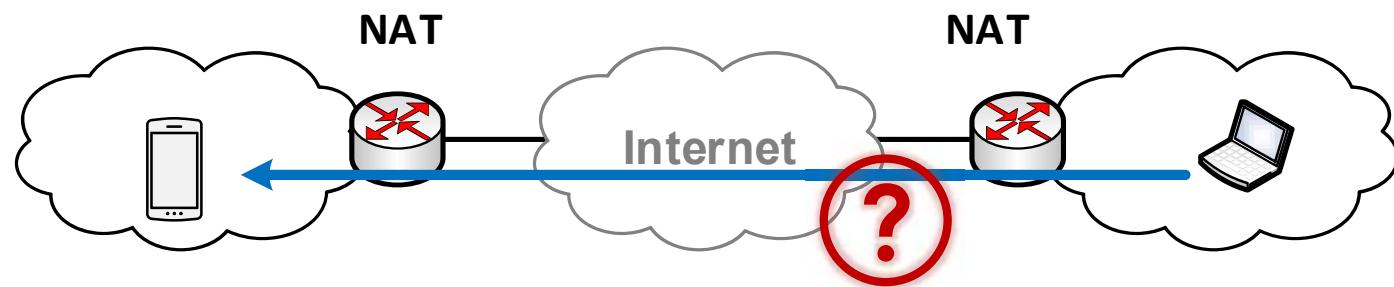


# *Port forwarding*

- Kako za server u unutrašnjoj mreži omogućiti pristup iz spoljašnje?
- Potrebno je statičko mapiranje
- **Port forwarding** – statičko mapiranje za određene adrese
  - Spoljni zahtev na globalnu IP adresu i serverski port će se mapirati u lokalnu IP adresu servera, a serverski port će ostati nepromenjen
  - Omogućava da se serveru priđe iz spoljašnje mreže
- Nedostatak:
  - Može samo jedna lokalna IP adresa da se bude uparena sa serverskim portom, odnosno samo jedan server za svaki servis (port)
    - Npr. ne može da postoji više veb servera dostupnih sa spoljne mreže na predefinisani port 80

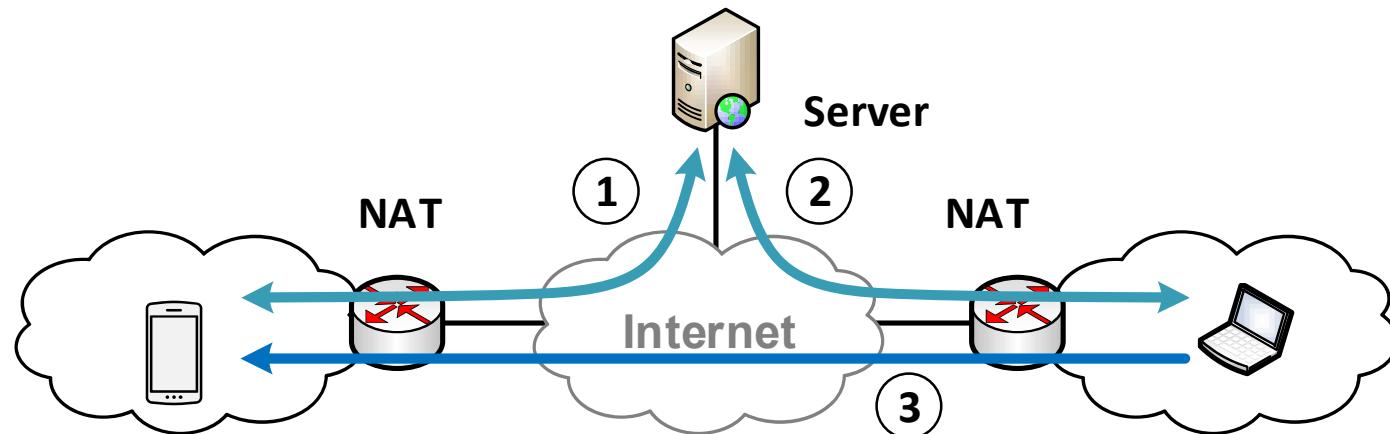
# Direktna komunikacija preko NAT-a

- Dinamički NAT/PAT
  - Inicijalizacija komunikacije - iz unutrašnje mreže
- Kako se sprovodi direktna komunikacija dva uređaja u različitim unutrašnjim mrežama (iza NAT-a)?
  - Real-time aplikacije – Skype, Viber, WhatsApp...



# Direktna komunikacija preko NAT-a

- Rešenje:
  - Uređaji se najpre registruju na javno dostupnom serveru (koraci 1 i 2)
  - Server uređajima prosledi „NAT-ovane“ adrese i portove za pristup
  - Uređaji nastavljaju direktno da komuniciraju



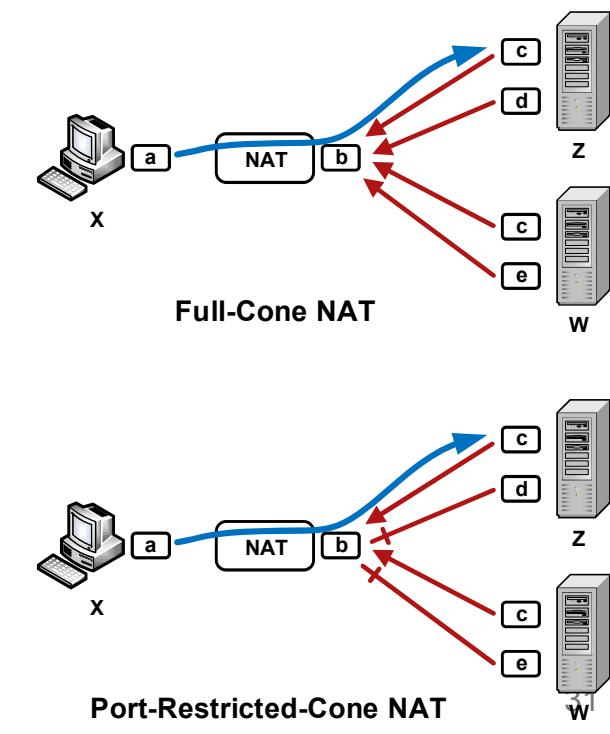
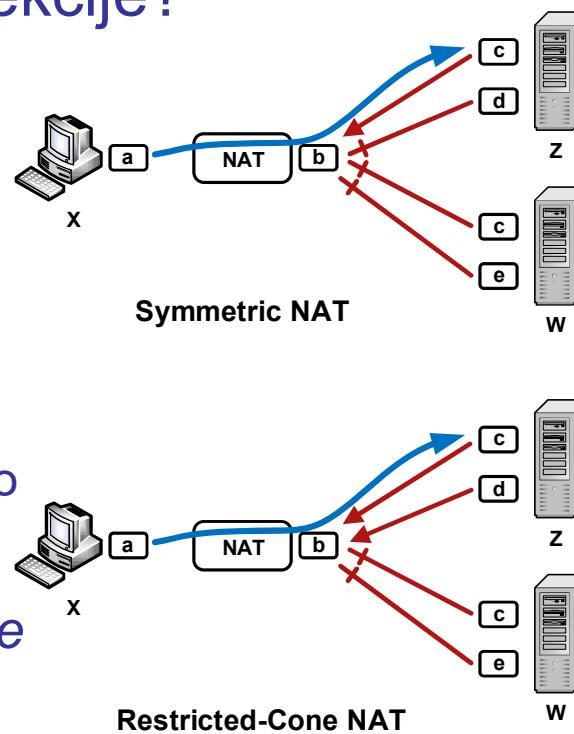
- Problem:
  - TCP – kako se uspostavlja direktna TCP veza?
  - Kako NAT dozvoljava trećem uređaju da koristi prethodno mapiranu adresu?

# NAT i UDP

- TCP – komunicira se samo sa uređajem sa kojim je prethodno uspostavljena konekcija (*Connection Oriented*)
- UDP protokol – nema otvaranja konekcije, pa na adresu i port može svako da pristupi (čak i na klijentski port, ako ga poznaj)
- Kome se dozvoljava da koristi globalnu adresu i port za otvorene NAT konekcije?

- 4 slučaja:

- *Symmetric*
  - najrestriktivnije
- *Full-Cone*
  - Najmanje restriktivno
- *Restricted-Cone*
- *Port-Restricted-Cone*

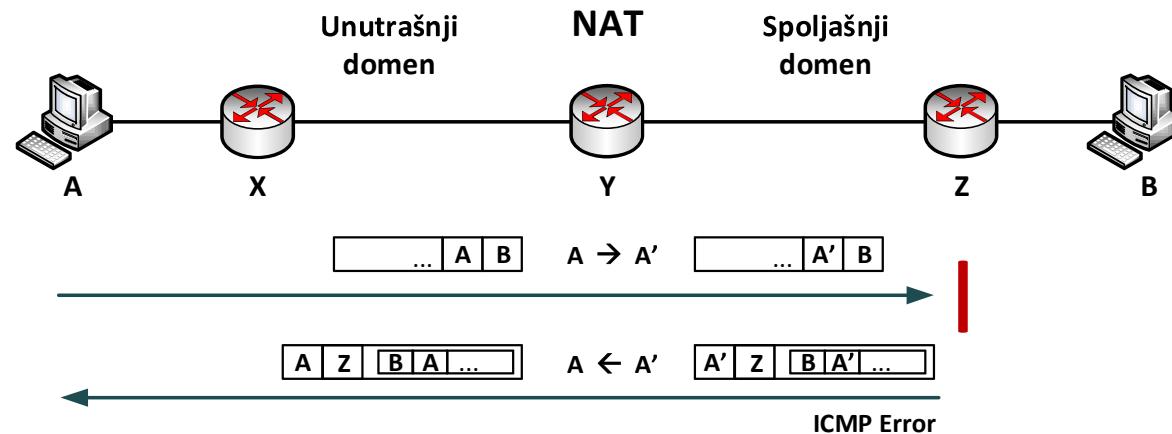


# NAT i ICMP i ostale aplikacije

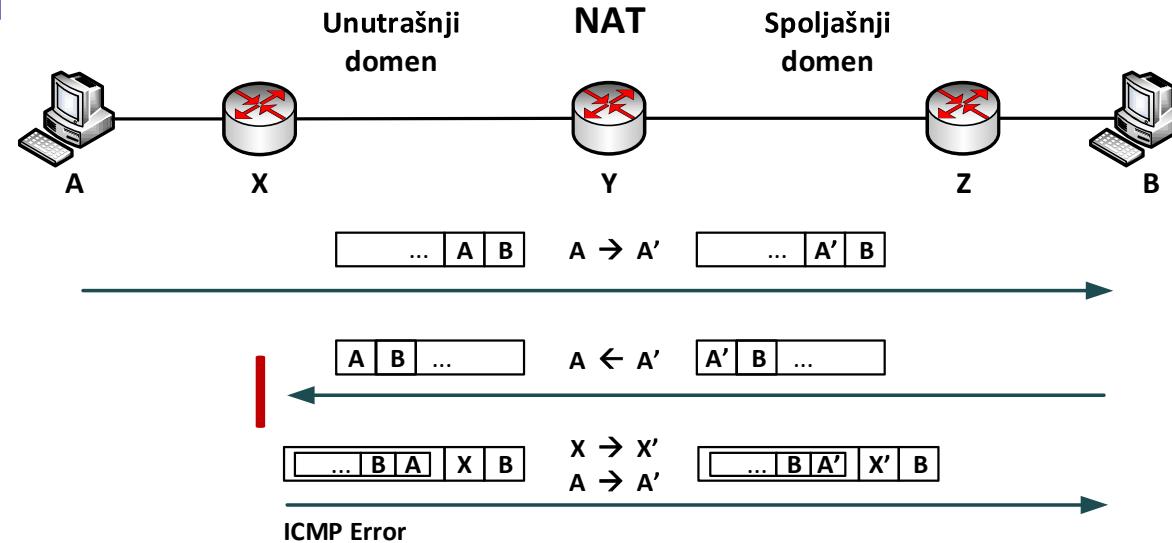
- Kako se primenjuje NAT za ICMP paketa, koji ne koriste UDP/TCP portove?
- Dve vrste ICMP poruka
  - Poruke upita (*ICMP query messages*)
    - Poseduju identifikaciono polje koje se koristi za NAT mapiranje (*Query Identifier, Query ID*)
  - Poruke o grešci (*ICMP error messages*)
    - Ne poseduje identifikaciono polje
    - Originalni IP paket se prenosi u telu ICMP error poruke (*payload*)
    - Potrebno je promeniti lokalne adrese i portove i u originalnom paketu
- Pojedine aplikacije prenose informacije o IP adresama u svojim podacima
  - *Application Level Gateway (ALG)*
    - NAT uređaj mora da gleda i menja i aplikativne podatka, kako bi NAT bio transparentan

# NAT i ICMP i ostale aplikacije

- Translacija ICMP Error poruka iz unutrašnjeg domena prema spoljašnjem



- Translacija ICMP Error poruka iz spoljašnjeg domena prema unutrašnjem

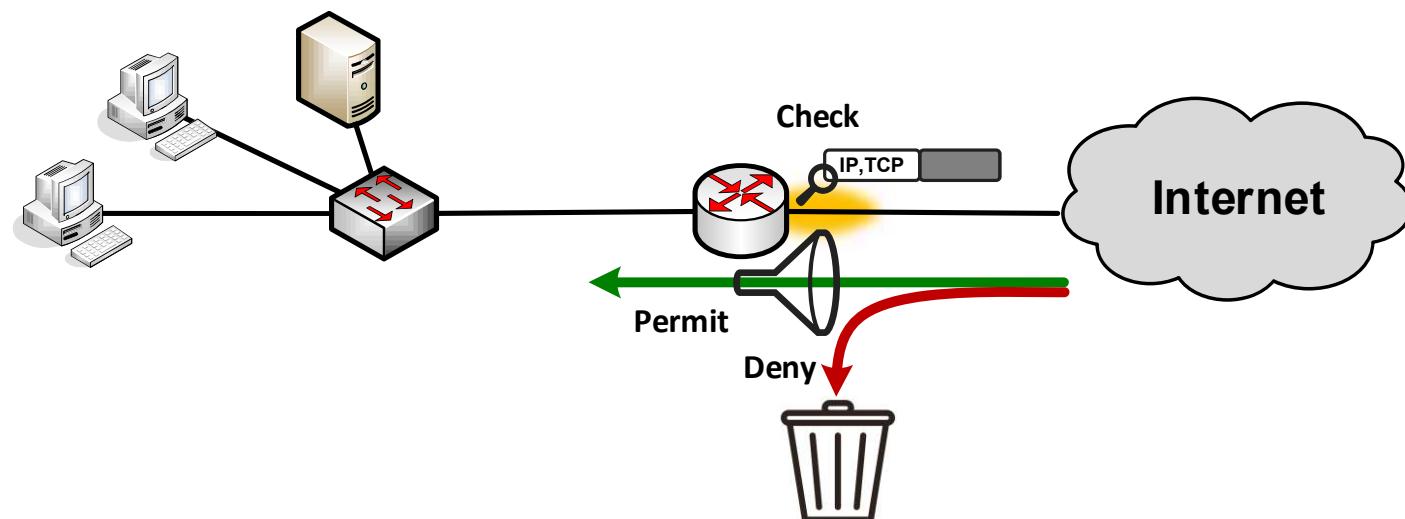


# Korišćenje NAT-a

- Prednosti:
  - Uobičajeno je da se za privatne korporacijske mreže koriste privatne IP adrese
    - Veća sloboda u dodeljivanju i korišćenju privatnih IP adresa
  - Ne mora da se vrši promena adresa u privatnoj mreži prilikom promene provajdera
  - Povećana je sigurnost (dinamički NAT) – privatni deo mreže je izolovan
  - Manja je potrošnja javnih IP adresa
- Mane:
  - Složenija konfiguracija i administracija
  - Komplikovanije procesiranje na ruterima i povećava se kašnjenje saobraćaja
  - Otežano je praćenje događaja na osnovu pritužbi sa Interneta (hakeri, virusi, narušavanje autorskih prava, DoS...)
  - Može da predstavlja problem za pojedine aplikacije koje se na aplikativnom nivou oslanjaju na IP adrese

# ACL – kontrola prosleđivanja paketa

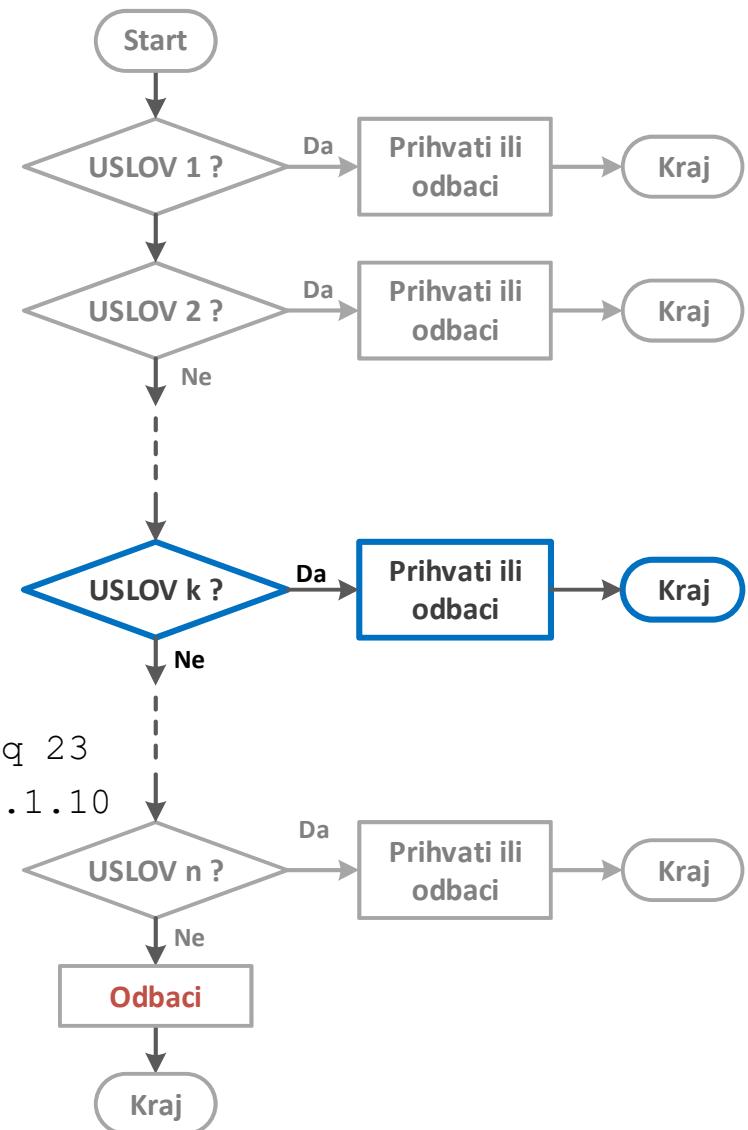
- **ACL – Access Control Lists, „Akses liste“**
  - Dozvola ili zabrana prolaska paketa kroz interfejse rutera
  - Inspekcija zaglavlja na L3 i L4 nivou
  - Uslov
    - Poređenje IP adresa, TCP/UDP portova, ICMP poruka
  - Akcija
    - Dozvola (*Permit*) – propuštanje paketa
    - Zabrana (*Deny*) – odbacivanje paketa (uništavanje) – slanje na *Null* interfejs
  - Filtriranje paketa – *Packet Filtering*



# ACL – kontrola prosleđivanja paketa

- Za svaki paket
  - Prolazak kroz uređenu listu uslova i pravila
- Nailazak na prvi ispunjeni uslov
  - Izvršava se pridruženo pravilo
  - Završava se prolaz kroz listu
- Kraj liste - ni jedno pravilo nije ispunjeno
  - **Paket se odbacuje (*Implicit Deny*)**
- Primer

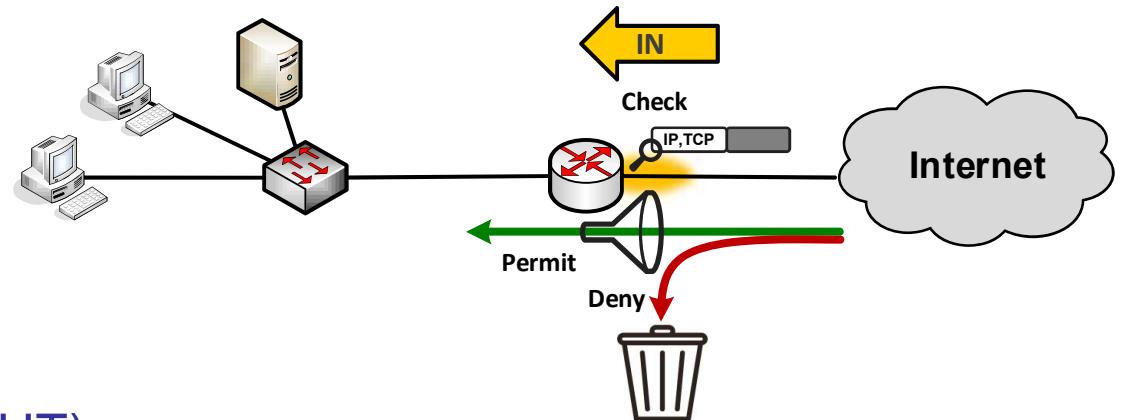
```
ip access-list extended EMAIL-SERVER
  permit tcp host 172.16.3.5 host 172.16.1.10 eq 23
  permit udp host 172.16.1.70 eq 53 host 172.16.1.10
  permit tcp any host 172.16.1.10 eq 25
  permit tcp any eq 25 host 172.16.1.10
  permit tcp any host 172.16.1.10 eq 110
  permit tcp any host 172.16.1.10 eq 80
  deny tcp 172.16.3.1 host 172.16.1.10 eq 23
  permit icmp any host 172.16.1.10 echo-reply
  deny ip any host 172.16.1.10
```



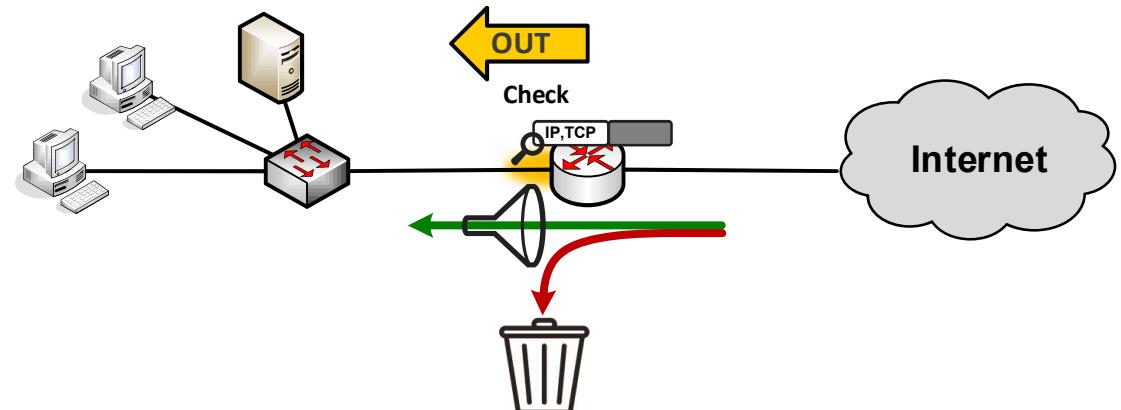
# ACL – kontrola prosleđivanja paketa

- Primena na interfejsima ruteru

- Na ulasku u interfejs (IN)

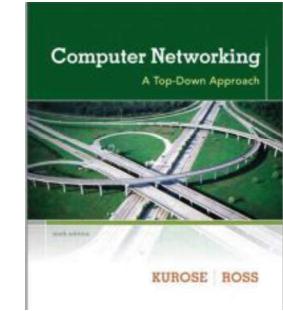
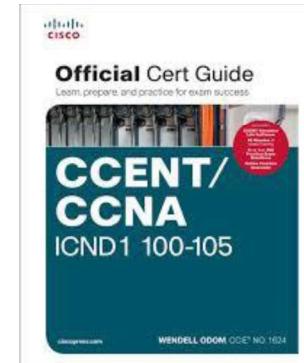


- Na izlasku iz interfejsa (OUT)



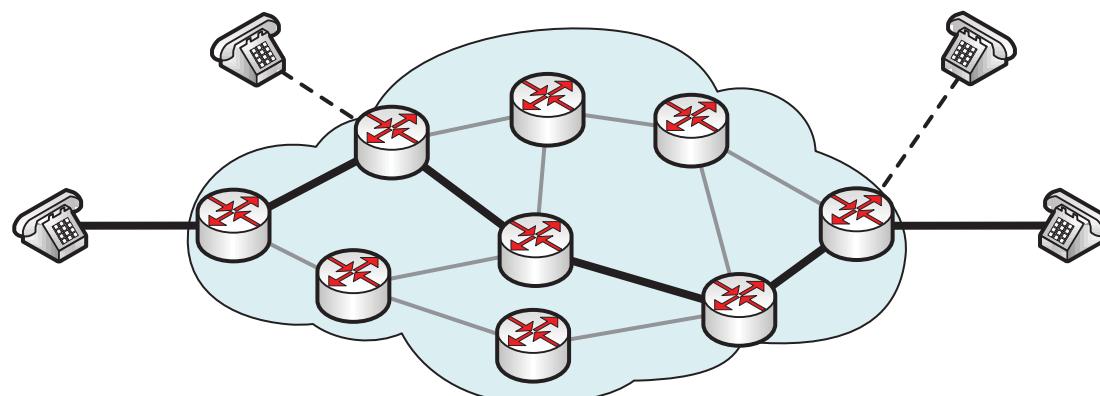
# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press
- James Kurose, Keith Ross  
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross  
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“  
prevod 7. izdanja  
CET



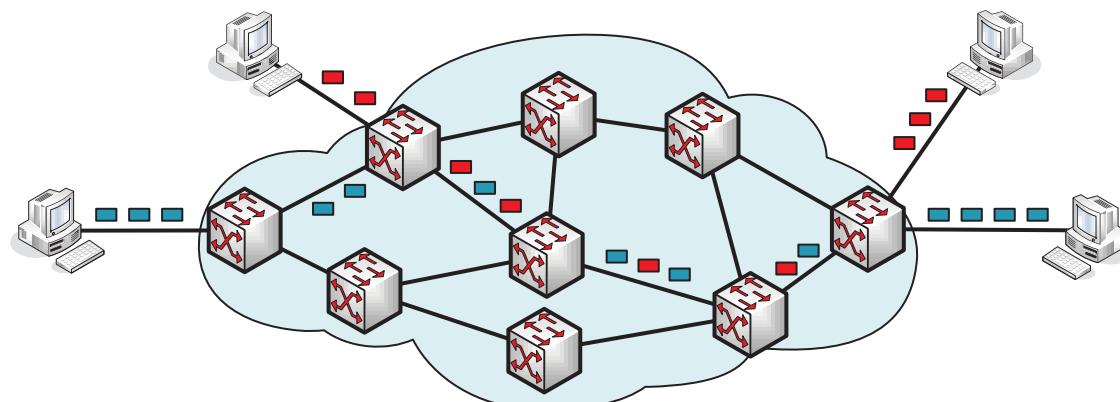
# Razvoj računarskih komunikacija

- **Circuit Switching – „komutacija kola“, „svičovanje veze“:**
  - Rezervisane veze
  - Trajno ili po potrebi (uspostavljanje)
  - Komunikacija „s-kraja-na-kraj“ (end-to-end)
- Problemi:
  - Neekonomično
    - Zauzeto i kada se ne koristi
  - Neskalabilno



# Svičovanje paketa

- 1961: Kleinrock – „Queueing theory“, Teorija redova čekanja
  - Matematička osnova koja pokazuje efikasnost komunikacije u manjim nezavisnim celinama
- 1965: Paul Baran (US), Donald Davies (UK):  
**Packet Switching** – „Svičovanje paketa“
  - Podela podataka na manje pakete koji se nezavisno prenose preko mreže, bez prethodno uspostavljene veze s-kraja-na-kraj
  - Deljenje komunikacionih resursa, veća iskorišćenost, fleksibilnost...



# ARPANET

- **1969:** ARPANET - *Advanced Research Projects Agency, Department of Defense*
  - Prva računarska mreža sa svičovanjem paketa
  - Povezivanje univerziteta i istraživačkih organizacija u SAD
    - 15 lokacija (čvorova)
  - Organizacija
    - radna grupa (*Network Working Group*),
    - Tehnička specifikacija
      - *Request for Comments* (RFC) dokumenti (u početku neformalni, kasnije u formi standarda, preporuka i pojašnjenja)
  - Prvi mrežni protokol - NCP *Network Control Protocol*
- **1971:** Cyclades, Francuska

# Standardizacija

- **1972:** *International Network Working Group (INWG)*
  - Zalagali se za svičovanje paketa
  - Radikalna ideja, suprotno interesima telekom industrije i računarskih giganata (IBM)
- **1974:** Vint Cerf and Robert Kahn
  - “A Protocol for Packet Network Intercommunication,” IEEE Transactions on Communications
  - Osnovni principi: minimalizam, *best-effort* (nema garancije), decentralizovana kontrola
- **1974:** IBM uspostavlja SNA (*System Network Architecture*), prete ga ostali proizvođači (DEC – DECnet, Novell NetWare...)
- **1975:** INWG podnosi tehnički predlog protokola međunarodnoj organizaciji sa standarde u telekomunikacijama – CCITT (ITU-T)
  - Predlog odbijen pod uticajem monopolističke telekom industrije
  - Obrazloženje: „riskantan i netestiran“



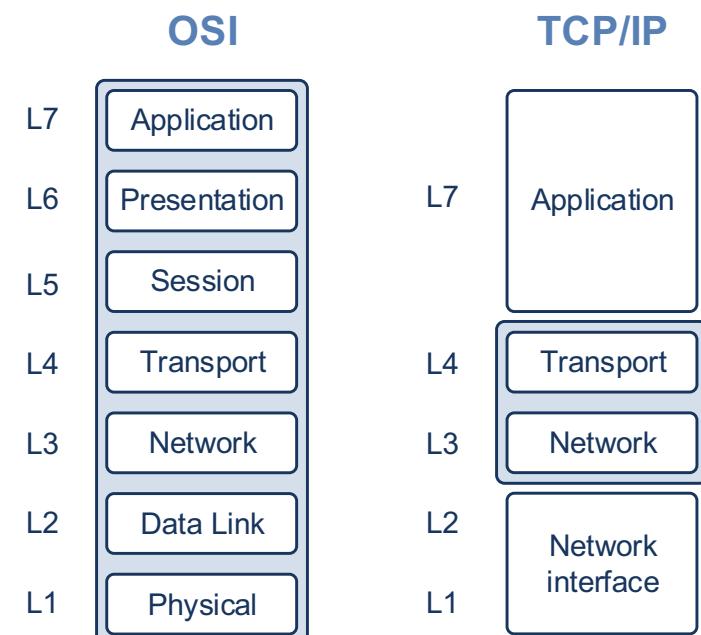
# ISO OSI

- 1977: OSI - *Open System Interconnection*, unutar međunarodne organizacije za standarde ISO (*International Organization for Standardization*)
  - Priključila se većina članova INWG, osim Vint Cerf koji je prešao u ARPA
  - Zadatak
    - Donošenje međunarodnog standarda za računarske komunikacije
  - Konglomerat renomiranih istraživača, telekomunikacione i računarske industrije (IBM)
  - Principi:
    - Otvorenost – komunikacija nezavisna od proizvođača uređaja
    - Modularnost – kompleksan problem je podeljen u manje celine



# TCP/IP

- **1980:** U.S. Department of Defense objavljuje "Standards for the Internet Protocol and Transmission Control Protocol"
  - **TCP/IP**



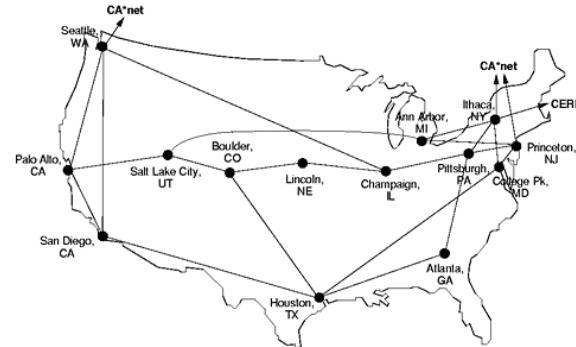
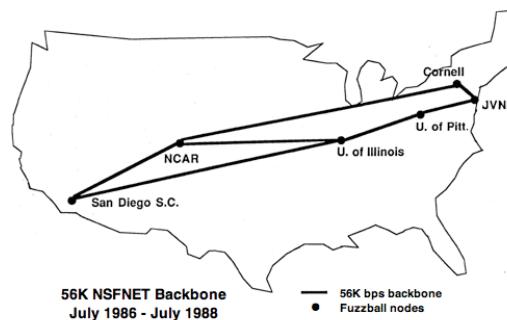
- **1982:** Eksterni protokol rutiranja
  - **EGP** (*Exterior Gateway Protocol*)
- **1983:** Protokol za razrešavanje IP adresa i naziva
  - **DNS** (*Domain Name System*)

# Rat između OSI i TCP/IP

- **1.1.1983:** U.S. Department of Defense
  - Odluka o korišćenju TCP/IP u ARPANET - “*Birth of the Internet*”
- **May 1983:** Objavljanje standarda “ISO 7498:
  - „*The Basic Reference Model for Open Systems Interconnection*”  
OSI referentni model
- **1985:** U.S. National Research Council preporučuje da Department of Defense postepeno pređe sa TCP/IP na OSI standard
- **1988:** U.S. Department of Commerce naložio vladinim ustanovama prelazak na OSI do avgusta 1990.
- **Kraj 80-tih:** Naznake neostvarenih očekivanja
  - Brian Carpenter, “*Is OSI Too Late?*”
  - Louis Pouzin, „*Ten Years of OSI—Maturity or Infancy?*”

# NSFnet

- **1985:** NSF – National Science Foundation
  - Preuzima finansiranje ARPANET mreže
- **1986:** NSFnet projekat
  - Nova mreža istraživačke zajednice za pristup super-računarskim centrima
  - Troslojna arhitektura na bazi TCP/IP
    - Kičma - 6 super-računarskih centara, 56kbps
    - Regionalni centri
    - Lokalni kampusi
  - Integrисано sa ARPANET мрежом



# *Internetworking*

- **Kraj 80-tih:**
  - „*Internetworking*“ => „*Internet*“
    - međusobno povezivanje različitih mreža u SAD
    - Povezivanje sa akademskim i istraživačkim mrežama u Evropi i Aziji
  - Pojava komercijalnih provajdera
  - Novi interni ruting protokoli – RIP, OSPF, IS-IS
- **1989:** Tačke za razmenu saobraćaja – *Internet Exchange Points*
  - Vladina mreža u SAD – FIX (*Federal Internet Exchange*) na istočnoj i zapadnoj obali (FIX-E, FIX-W)
- **1991:** Komercijalni provajderi razmenjuju saobraćaj
  - CIX (*Commercial Internet Exchange*)
- **1992:** Kongres SAD odobrava NFS povezivanje NSFnet i komercijalnih provajdera
- **1995:** BGP ruting protokol
  - NSFnet menja prethodni EGP i prelazi na BGP ruting protokol
  - Formalno prestaje finansiranje projekata NSFnet

# Današnji Internet

- Distribuirana arhitektura
  - BGP (verzija 4) protokol rutiranja
  - Veliki broj autonomnih sistema, ravnopravnih u tehničkom smislu
- Internet servis provajderi (ISP)
  - Provajderi prvog nivoa, globalni provajderi (*Tier 1*)
    - Globalni provajderi, mali broj
    - Međusobno besplatno razmenjuju saobraćaj
    - Naplaćuju zakup provajderima drugog nivoa – globalno povezivanje
    - Čine neformalnu kičmu Interneta
  - Provajderi drugog nivoa, regionalni provajderi (*Tier 2*)
    - Plaćaju zakup provajderima prvog nivoa (tranzit)
    - Mogu da besplatno razmenjuju saobraćaj u sa drugim provajderima
  - Provajderi trećeg nivoa, pristupni provajderi (*Tier 3*)
    - Plaćaju zakup provajderima drugog nivoa (tranzit)
    - Povezuju krajnje korisnike

# Današnji Internet

- Provajderi sadržaja
  - Google, Facebook, Microsoft, Netflix...
  - Sopstvene mreže povezanih data-centara na svim kontinentima
- Provajderi distribucije sadržaja  
(CDN - *Content Delivery Network*)
  - Veliki broj servera za distribuciju sadržaja (video, audio)
  - Vlasnici sadržaja – TV i radio kanali, novinske kompanije itd.
  - Krajnjim korisnicima se sadržaj isporučuje sa najbližeg servera
  - Kompanija Akamai – preko 200.000 servera u 120 zemalja
- Posledice:
  - Preko 70% saobraćaja na Internetu je video sadržaj
  - Sadržaj „blizu“ korisnika – lokalna isporuka
  - Smanjena zarada i uticaj klasičnih Internet provajdera

# Organizacija Interneta

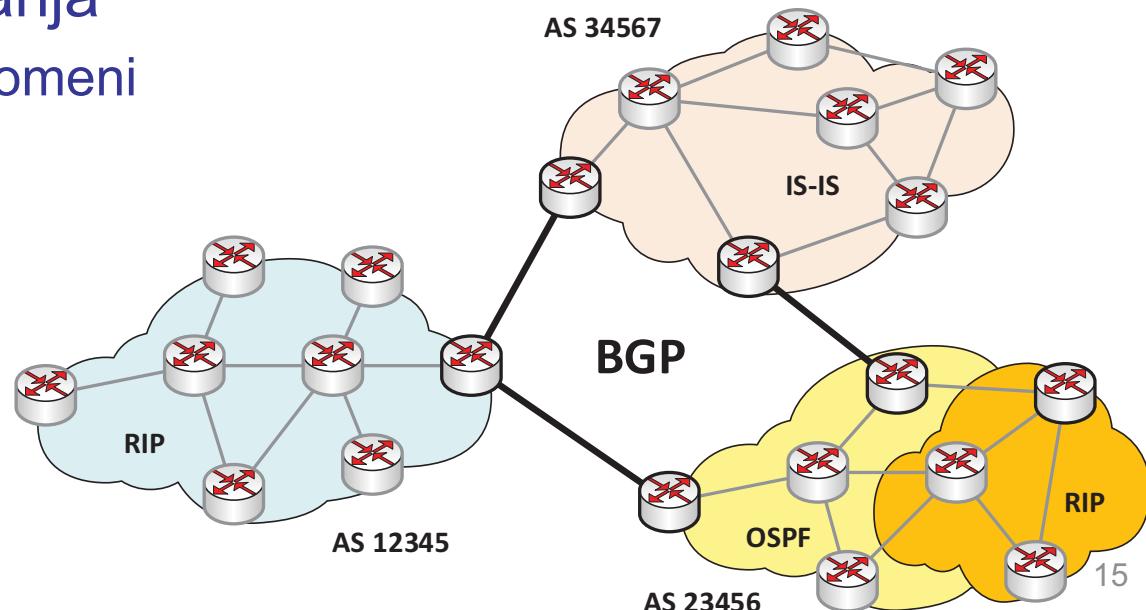
- IETF - *Internet Engineering Task Force* (1986)
  - Proizašao iz *International Network Working Group* (INWG)
  - Skup neformalnih radnih grupa, otvorene za svakoga
  - Donosi standarde i preporuke u vidu RFC dokumenata (*Request for Comments*)
- IRTF - *Internet Research Task Force* (1989)
  - Radne grupe za istraživanje
- ISOC - *Internet SOCIETY* (1992)
  - Privatna neprofitna organizacija
  - Finansirana kroz članstvo (preko 100.000 članova, kompanije i pojedinci)
  - Obuhvata IETF i IRTF

# Organizacija Interneta

- IANA - *Internet Assigned Numbers Authority* (1988)
  - Dodeljuje IP adrese, numeraciju protokola, brojeve autonomnih sistema, Top-Level DNS domene itd.
  - Distribuirano na 5 kontinenata – Regionalni Internet Registari  
*RIR - Regional Internet Registry:*
    - RIPE - *Réseaux IP Européens*
    - ARIN - *American Registry for Internet Numbers*
    - APNIC – *Asia Pacific Network Informations Centre*
    - LACNIC – *Latin American and Caribbean IP Address Registry*
    - AfriNIC – *African RIR*
- ICANN - *Internet Corporation for Assigned Names and Numbers* (1998)
  - Privatna neprofitna organizacija
  - Obuhvata IANA

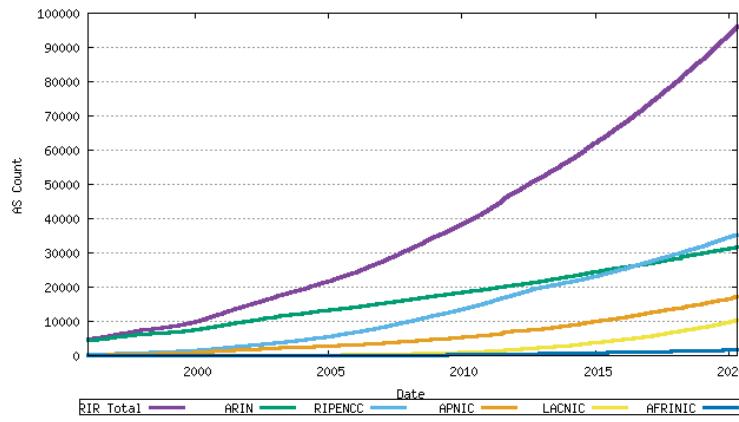
# Interni i eksterni protokoli rutiranja

- Interni protokoli rutiranja nisu skalabilni:
  - Veliki broj podmreža unutar jedne zajedničke mreže (autonomnog sistema)
  - Nestabilnost – svaka promena se propagira
  - Problem konvergencije – do nekoliko sekundi nekoliko stotina sekundi
  - Izračunavanje metrike i ruta
  - Pojedinačne mreže u ruting tabelama
- Eksterni protokoli rutiranja
  - Različiti administrativni domeni
  - Politike filtriranja i balansiranja saobraćaja
  - Netehnički (komercijalni) kriterijum za izbor ruta

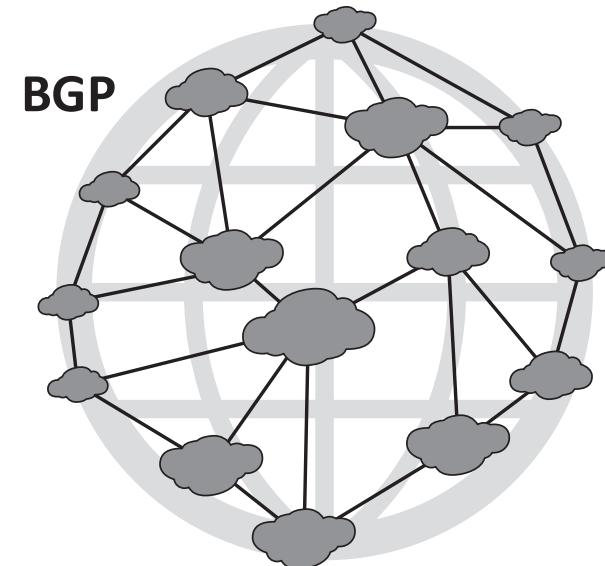


# BGP - *Border Gateway Protocol*

- BGP verzija 4, RFC 1655 (1994), RFC 4271 (2006)
- Razmenu ruta između autonomnih sistema
  - Mreže provajdera, kompanija, organizacija, univerziteta itd.
- Autonomni sistemi se označavaju brojevima
  - Inicijalno 2 bajta (do 65,535)
  - Prošireno na 4 bajta, RFC 4893 (2007), RFC 6793 (2012)
- Brojevi autonomnih sistema se moraju registrovati
  - AS brojevi od 64,512 do 65,535 su rezervisani za privatno korišćenje

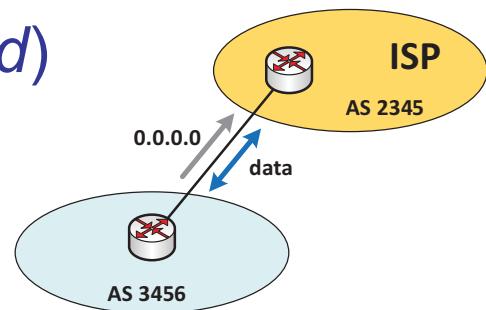


<http://www.potaroo.net/tools/asn32/>

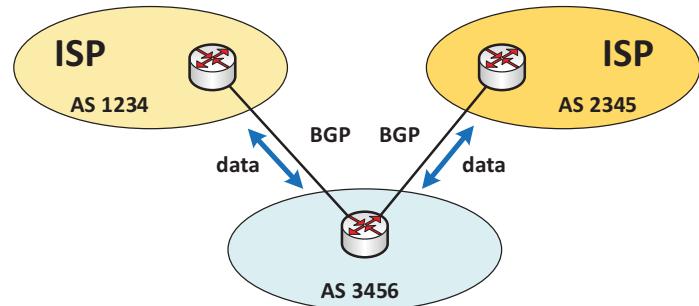


# Tipovi autonomnih sistema

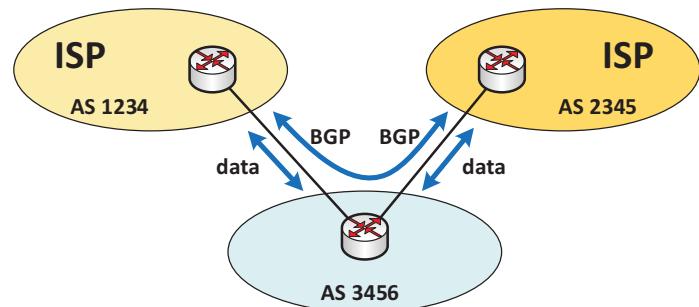
- AS sa jednom vezom (*Stub, Single-Homed*)



- Netranzitni AS sa više veza  
(*Multi-Homed Non-Transit*)

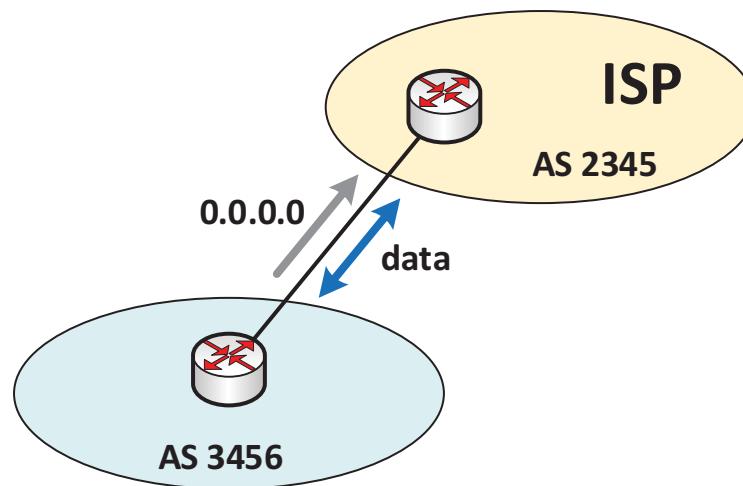


- Tranzitni AS sa više vaza  
(*Multi-Homed Transit*)



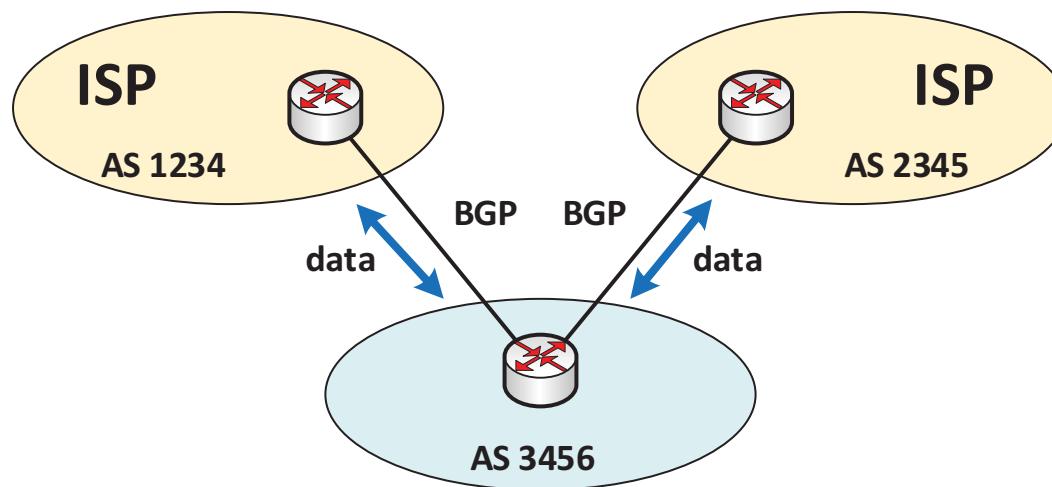
# AS sa jednom vezom

- Autonomni sistem ima samo jednu vezu sa provajderom:
- Rutiranje može da se organizuje na više načina:
  - Regularna BGP veza
  - Interni protokol rutiranja integrisan sa mrežom provajdera
  - Difoltna ruta – najefikasnije rešenje



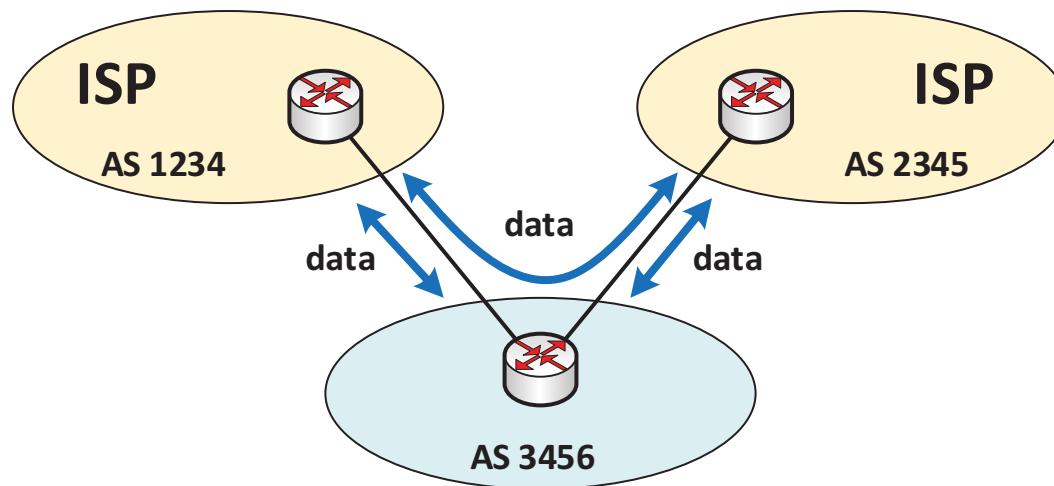
# Netranzitni AS sa više veza

- Autonomni sistem je povezan na više različitih provajdera
- „Netranzitni“ – ne oglašavaju se rute dobijen od drugih AS-ova
  - Zabranjuje se da saobraćaj iz jednog ISP prolazi kroz AS do drugog ISP
  - Tehničko-komercijalni razlozi – veze koristi i plaća AS samo za svoje potrebe
- Potrebno je koristiti BGP
  - Difoltna ruta nije efikasna



# Tranzitni AS sa više veza

- Autonomni sistem je povezan na više različitih provajdera
- „Tranzitni“ – oglašavaju se rute dobijen od drugih AS-ova
  - Kroz AS se dozvoljava prolazak saobraćaja drugih autonomnih sistema
    - Saobraćaj iz jednog ISP prolazi kroz AS do drugog ISP
- Neophodno je koristiti BGP

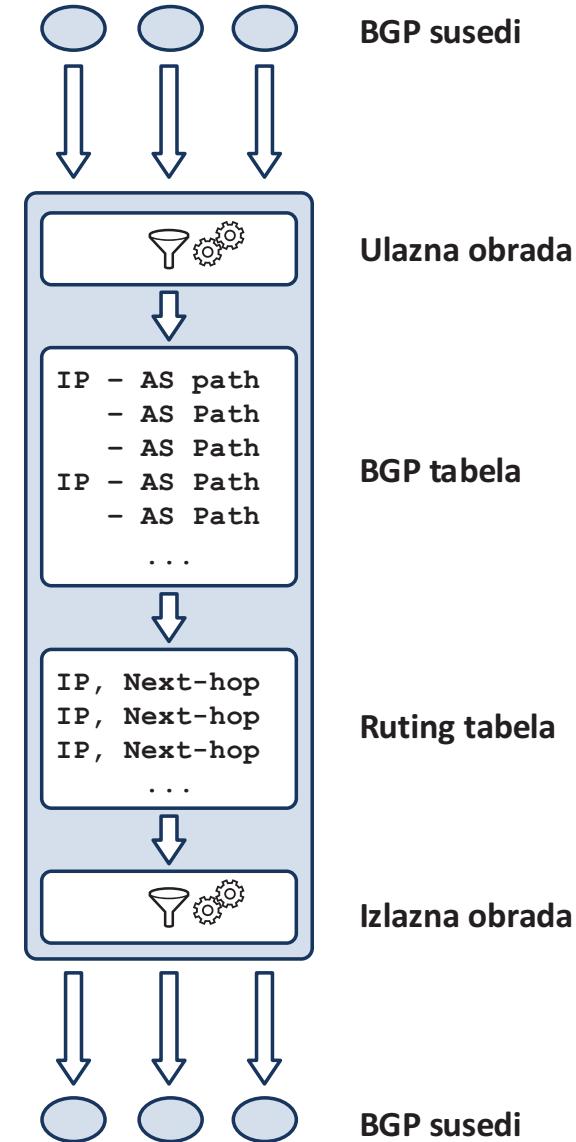


# BGP – karakteristike

- BGP v4 - aktuelna verzija RFC 1772 (1995)
  - *Distance-Vector* protokol rutiranja
    - Broj autonomnih sistema na između dve tačke – broj koraka (*Hop-Count*)
    - Mehanizam sprečavanja petlji u rutiranju – niz AS na putanji
  - Uvodi dodatna pravila za regulisanje dolaznog i odlaznog saobraćaja
    - Dolazni saobraćaj (sa Interneta) – zavisi od načina oglašavanje IP mreže iz AS
    - Odlazni saobraćaj – zavisi od ruta koje se prihvate od povezanih AS-ova (ISP)
  - CIDR (*Classless Inter-Domain Routing*)
    - IP adresa i maska – *Network-Layer Reachability Information* (NLRI)
- *Multiprotocol Extensions for BGP-4*, RFC 2283 (1998)
  - Proširenje na druge protokole – IPv6, VPN, *Multicast* itd.

# BGP – princip rada

- **BGP Speaker**
  - Ruter koji ima pokrenut BGP protokol
- **BGP Peers (BGP susedi)**
  - Dva rутера која комуникарају преко BGP протокола
  - Комуникација преко TCP протокола, порт 179
  - Не морaju да буду директни суседи
- **Улазна обрада**
  - Селективно приhvatanje и обрада ruta од BGP суседа
- **BGP tabela** – подаци прихваћени од BGP суседа
  - IP мреже (NLRI) и све путање које воде до њих
    - Заштита од петљи при рутирању
    - Остали атрибути за одлуčivanje избора најбоље руте
- **Ruting tabela**
  - Само једна најбоља ruta за сваку мрежу
- **Izlazna obrada**
  - Селективна обрада и оглашавање ruta BGP суседима



# BGP – Tipovi poruka

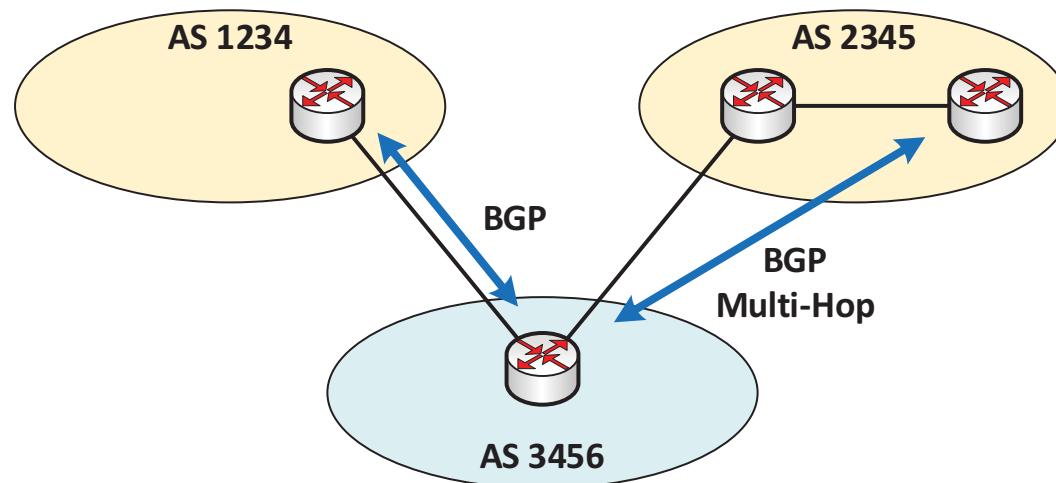
- ***Open*** poruka – uspostavljanje veze
  - Sadrži sledeće podatke:
    - BGP version number (4)
    - AS broj rутера koji šalje *Open* poruku
    - *Hold Time* – vreme za koje se smatra da je veza otvrena ako ne stižu *Keepalive* poruke za održavanje veze
    - *Router ID* – identifikacija rутера koji šalje *Open* poruku
      - IP adresa interfejsa koji šalje *Open* poruku
- ***Keepalive*** poruka – održavanje veze
  - Periodično slanje praznih BGP poruka (samo BGP zaglavljia)
  - *Keepalive* interval – trećina vremena *Hold-Time* intervala ( $\text{Hold Time}/3$ )
    - Veza se prekida ako ne stignu 3 *Keepalive* poruke
- ***Notification*** poruka – ukazivanje na grešku
  - Ako postoji greška pri uspostavljanju veze ili tokom rada
  - Izaziva prekid veze – ponovno slanje *Open* poruke

# BGP – Tipovi poruka

- ***Update*** poruka – razmena atributa
  - Sadrži:
    - *Prefix* – adresa IP mreže (NLRI)
    - *AS-path* – niz AS brojeva na putu do navedene IP mreže
    - *Atributs* – ostale informacije kojima se specificira način tretiranja date rute
  - Razmena ruta samo po potrebi:
    - BGP ruteri čuvaju broj verzije BGP ruting tabele susednih ruteru
    - Broj verzije se inkrementira prilikom svake promene (ubacivanje ili izbacivanje rute)
    - Ako nema nikakvih promena razmenjuju se *Keepalive* poruke
    - Razmenjuju se nove rute i povučene (obrisane) rute

# Vrste BGP veza

- Uspostavljanje veze preko TCP
  - BGP susedi ne moraju da budu direktno povezani
- **Vrste BGP veza prema fizičkoj povezanosti:**
  - Direktne BGP veze – podrazumevana veza između dva rutera
  - Indirektne BGP veze – *Multi-Hop* opcija
    - Posebno se navodi tačan broj koraka između rutera
    - Proverava se broj koraka preko TTL polja – mora da bude 255-n (RFC 7454)



# Vrste BGP veza

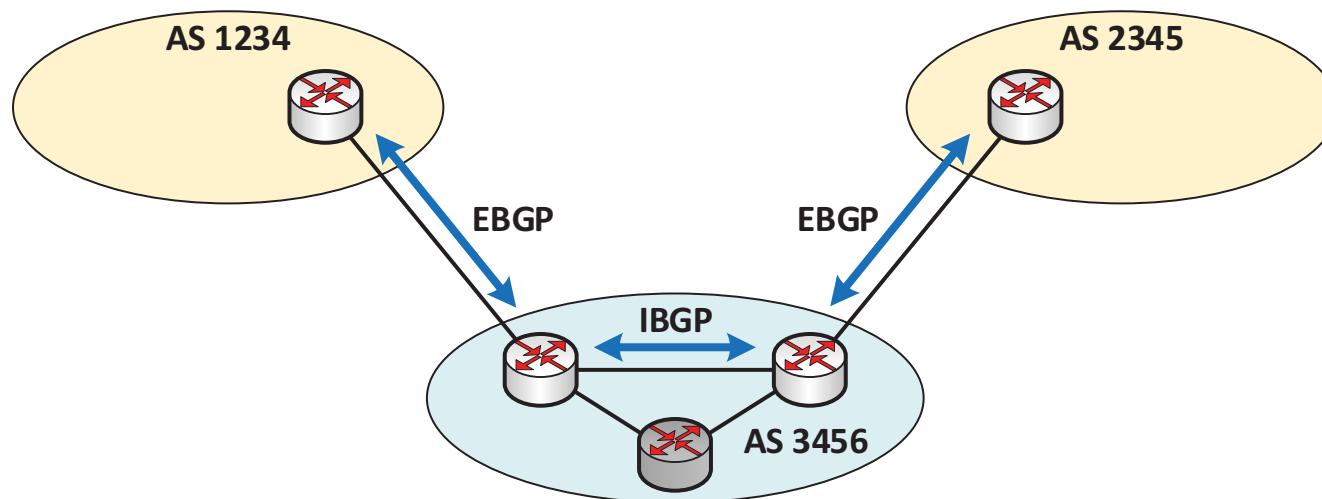
- **Vrste BGP veza u odnosu na AS:**

- **Eksterni BGP – EBGP**

- Između ratera u različitim autonomnim sistemima
  - Razmena ruta između različitih autonomnih sistema

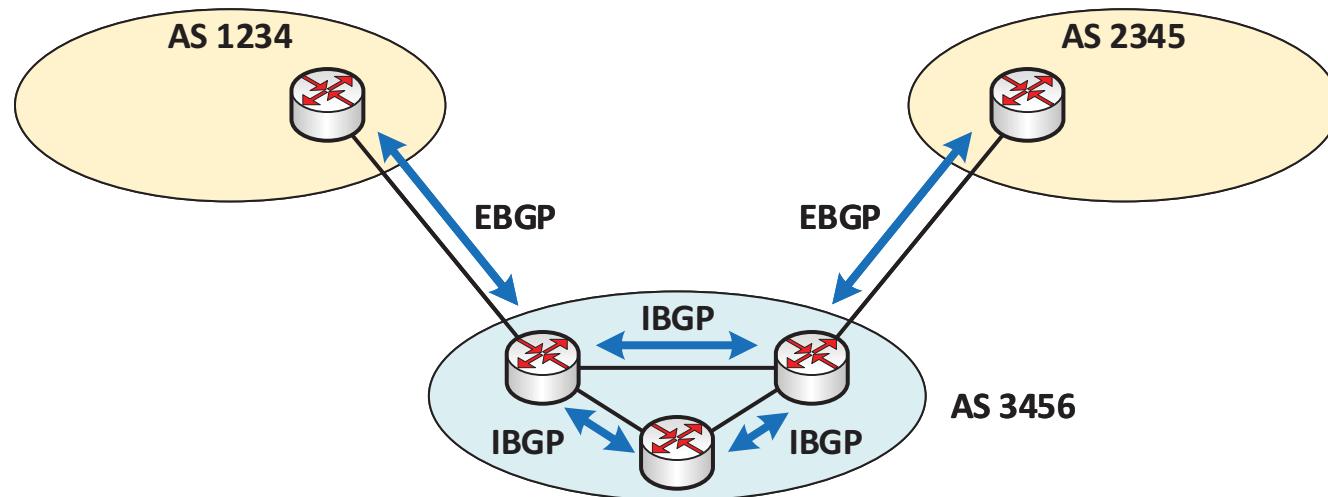
- **Interni BGP – IBGP**

- Između ratera u istom autonomnom sistemu
  - Potrebno za ostvarivanje veza sa drugim AS sa različitih geografskih lokacija
  - Razmena spoljašnjih ruta unutar autonomnog sistema



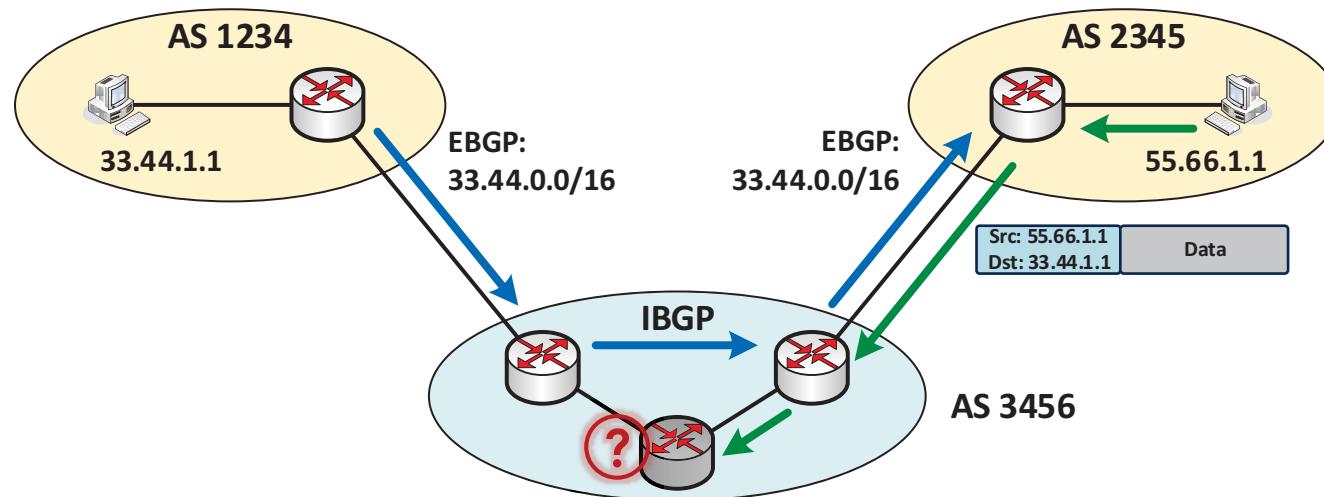
# IBGP – kontinuitet unutar AS

- Problem kod IBGP:
  - Kako koristiti *AS-path* za detektovanje petlji unutar AS?
- Rešenje:
  - **Rute dobijene preko IBGP se ne prenose drugim IBGP susedima**
- Posledica:
  - Svi BGP ruteri unutar AS moraju da budu BGP susedi
    - Potpuni graf povezanosti



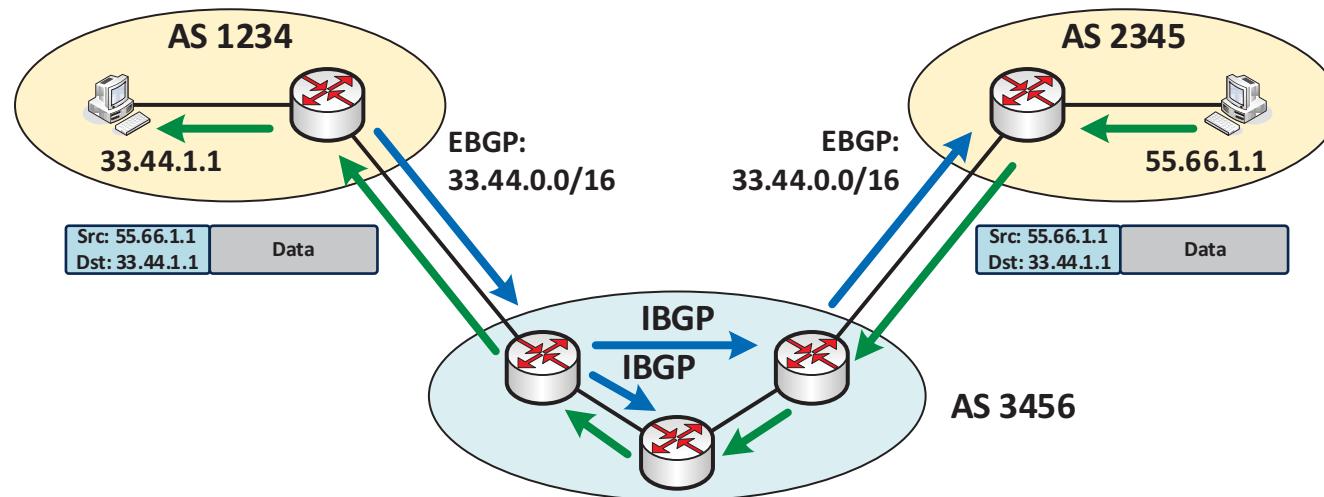
# IBGP - Sinhronizacija unutar AS

- Problem kod IBGP:
  - *Multi-Hop* IBGP veza u tranzitnom AS
- Sinhronizacija
  - **Sve rute koje se prosleđuju EBGP susedu, moraju da budu poznate preko internih protokola rutiranja – sinhronizovane unutar AS-a**
  - Da drugi ne-BGP ruteri mogu da prenose tranzitni saobraćaj kroz AS



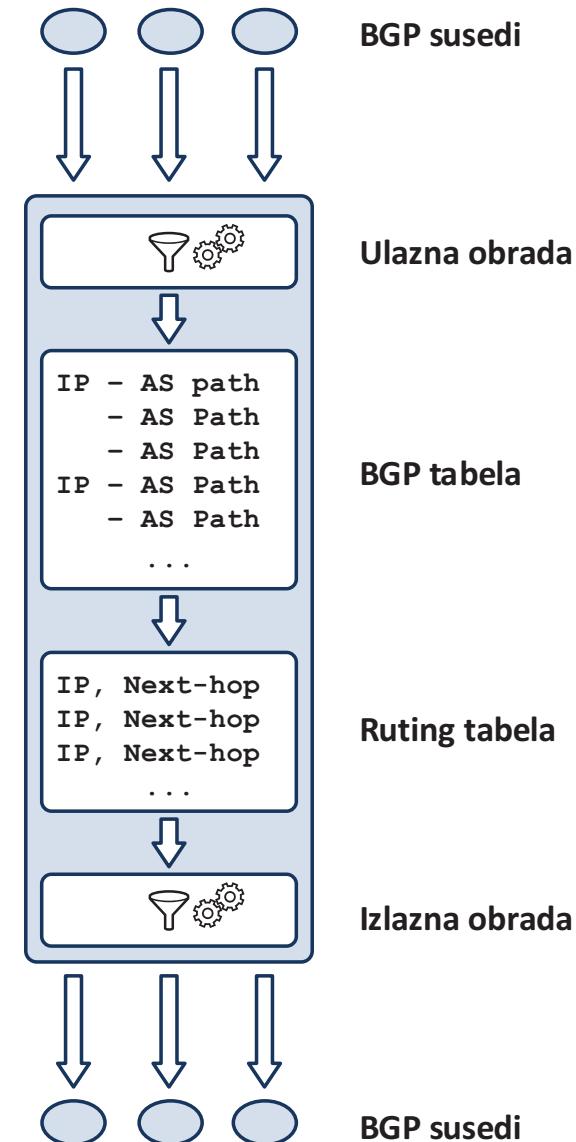
# IBGP - Synchronizacija unutar AS

- Rešenje za sinhronizaciju
  - Redistribucija svih BGP ruta u interni protokol rutiranja (IGP)
  - Loše – veliki broji BGP ruta,
  - Isključena sinhronizacija i potpun IBGP graf povezanosti svih ruteru unutar AS na putanji tranzitnog saobraćaja
  - Problem skalabilnost IBGP – broj veza raste sa kvadratom IBGP ruteru



# BGP atributi

- BGP atributi
  - Dodatne informacije u *Update* porukama koje opisuju rute i utiču na saobraćaj
- Ulazna i izlazna obrada ruta
  - Filtriranje ruta (*Update* poruke)
  - Menjanje pojedinih atributa
- Kontrola saobraćaja
  - Ulazna obrada ruta
    - Selektivno prihvatanje ruta i izmena atributa
    - Utiče se na odlazni saobraćaj
  - Izlazna obrada ruta
    - Izmena atributa i selektivno oglašavanje ruta
    - Utiče se na dolazni saobraćaj

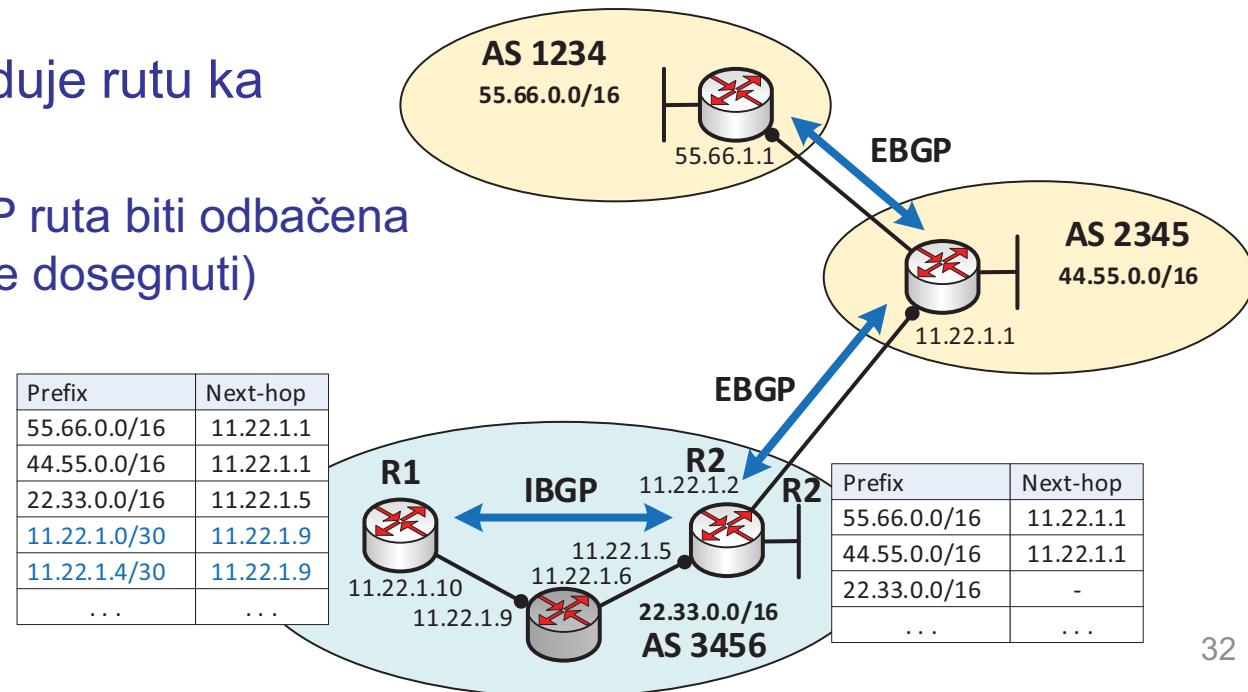


# Vrste BGP atributa

- **Dobro poznati** – moraju biti podržani u BGP implementaciji
  - **Obavezni** – sadržani u svakoj ruti (***Well-Known Mandatory***)
  - **Neobavezni** – dodaju se prema potrebi (***Well-Known Discretionary***)
- **Opcioni** – ne moraju biti podržani svakoj u BGP implementaciji
  - **Prenosivi** – ako su sadržani u ulaznim rutama, prenose se i u oglašenim rutama (***Optional Transitive***)
  - **Neprenosivi** – ako su sadržani u ulaznim rutama, ne prenose se u oglašenim rutama (***Optional Non-Transitive***)

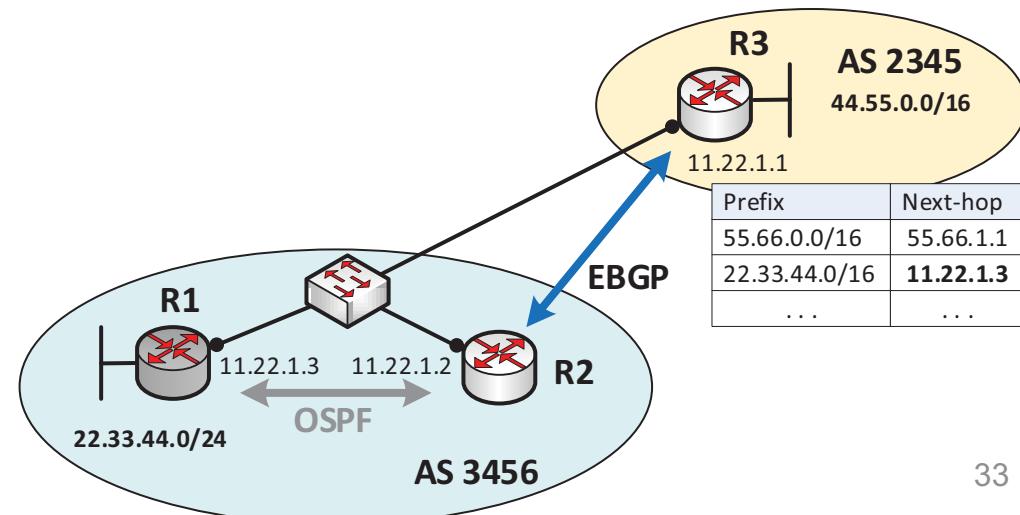
# Next Hop atribut

- *Next Hop* – Dobro poznat obavezan atribut
  - IP adresa rутera koji vodi ka oglašenoj ruti
    - EBGP - IP adresa EBGP suseda koji je oglasio datu rutu
    - IBGP
      - Ako je ruta došla iz drugog AS – IP adresa EBGP rутera iz drugog AS (nepromenjen se prenosi unutar AS)
      - Ako je ruta originalno oglašena unutar AS – IP adresa rутera koji je oglasio datu rutu
  - Ruter mora da poseduje rutu ka *Next Hop* adresi
    - U suprotnom će BGP ruta biti odbačena (jer se ne zna kako je dosegnuti)



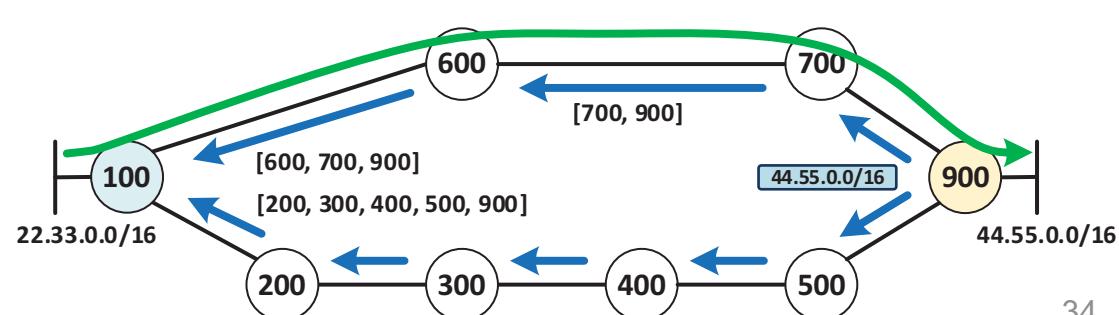
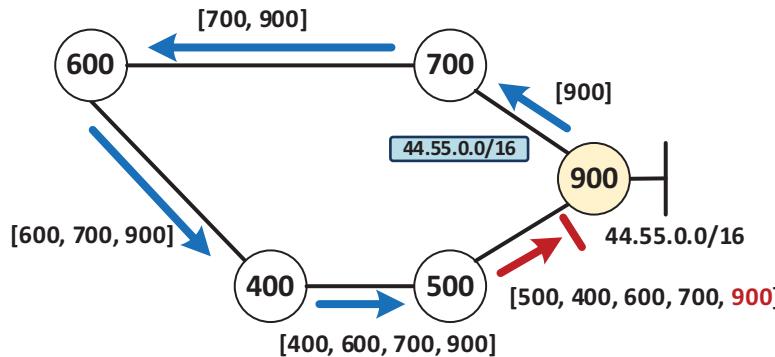
# Next Hop atribut

- Izuzetak za *multi-access* segmente (Ethernet)
  - Ovlašavanje IP mreže čije putanje vode preko ruteru koji deli segment sa BGP ruterima
- Primer
  - BGP ruter R2 oglašava rutu 22.33.44.0/24 BGP ruteru R3
    - *Next Hop* = 11.22.1.3 (adresa rутera R1, a ne adresa rутera R2)
    - Iako R1 ne učestvuje u BGP, ruter R2 prepozna da njegova adresa može direktno da se koristi za *Next Hop*



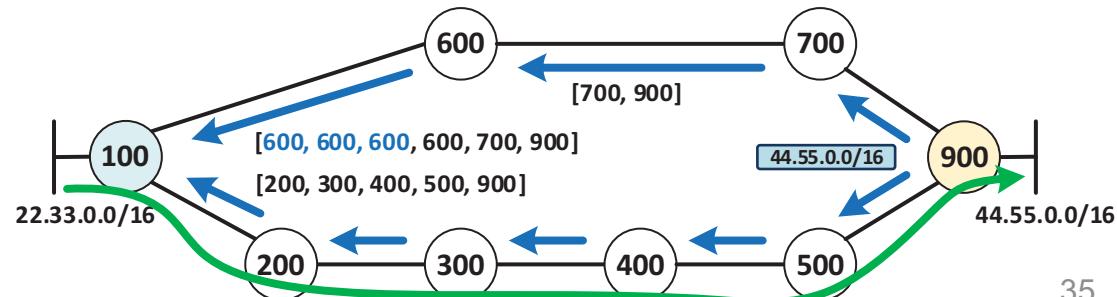
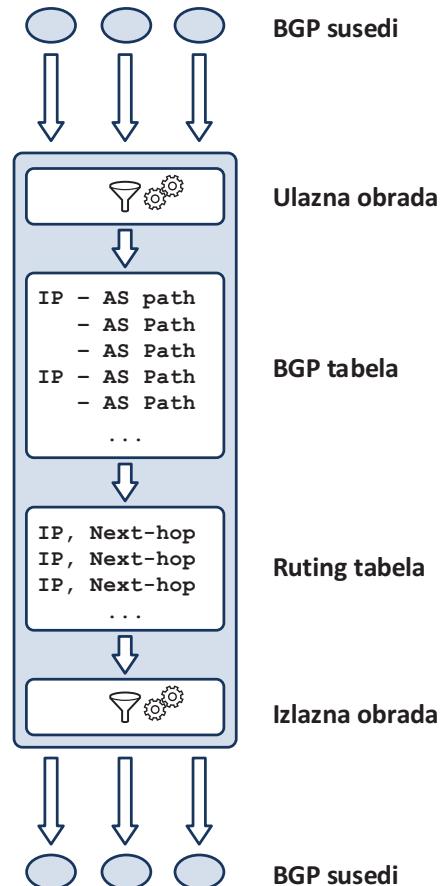
# AS Path atribut

- **AS Path** – Dobre poznat obavezni atribut
  - Lista AS brojeva – putanja do oglašene rute
  - Oglašavanje rute EBGP susedu
    - Dodaje se broj pripadajućeg AS
  - Oglašavanje rute IBGP susedu
    - Atribut ostaje nepromenjen
  - Propagacija (oglašavanje) rute kroz Internet
    - Formira se lista brojeva koji vode do pridružene IP mreže
- Namena:
  - Zaštita od petlji pri rutiranju
    - Ruta se odbacuje ako *AS Path* atribut na ulaznu sadrži pripadajući AS
  - Osnovna metrika za odlučivanje koja je ruta najbolja – najkraća putanja



# AS Path atribut

- Obrada ruta – izmena pojedinih atributa
- **AS Path Prepending**
  - Dodavanje AS brojeva u AS Path atribut
- Primer
  - Kontrola saobraćaja od AS 100 do AS 900
  - Dodavanje AS 600 u AS Path atribut
    - Na ulasku u AS 100
      - Ulazna obrada ruta – utiče se na odlazni saobraćaj
    - Na izlasku iz AS 600
      - Izlazna obrada ruta – utiče se na dolazi saobraćaj (saobraćaj iz AS 100 u AS 600)

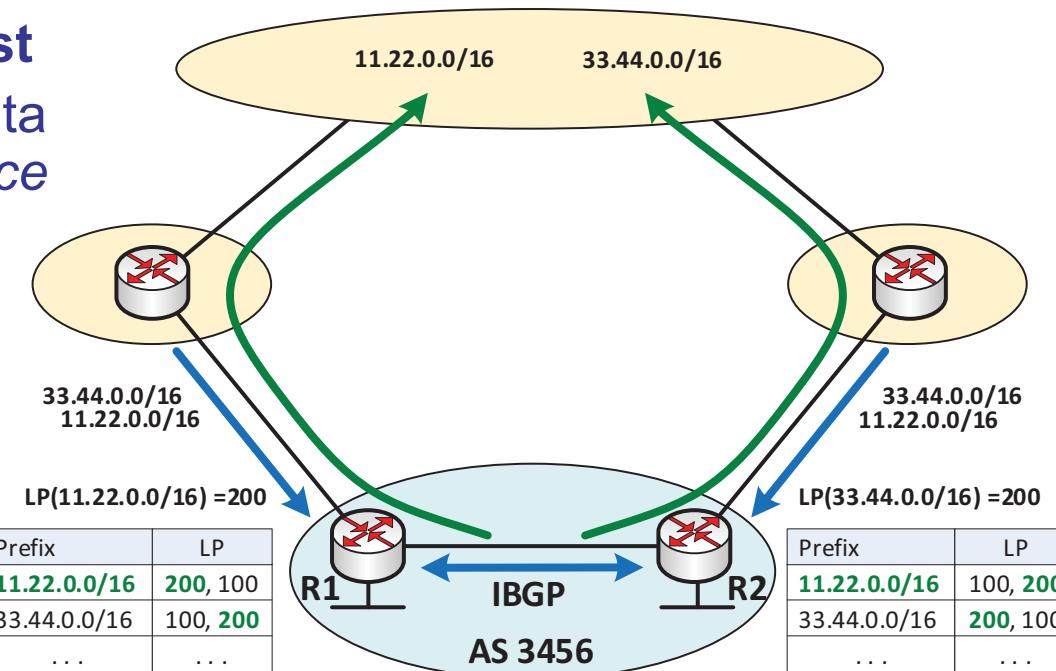


# *Origin Atribut*

- Dobro poznat obavezan atribut (WMA)
- *Origin* atribut govori o poreklu rute (prefiksa)
  - **IGP** (0)
    - Ruta je izvorno nastala unutar BGP protokola (`network` komanda)
  - **EGP** (1)
    - Ruta je dobijena iz EGP (ranija verzija eksternog protokola), danas se ne koristi
  - **Incomplete** (2)
    - Ruta je dobijena redistribucijom u BPG
- Koristi se u izboru najbolje rute:
  - **Manja vrednost – veći prioritet**
    - Originalne BGP rute imaju veći prioritet u odnosu na rute nastale redistribucijom

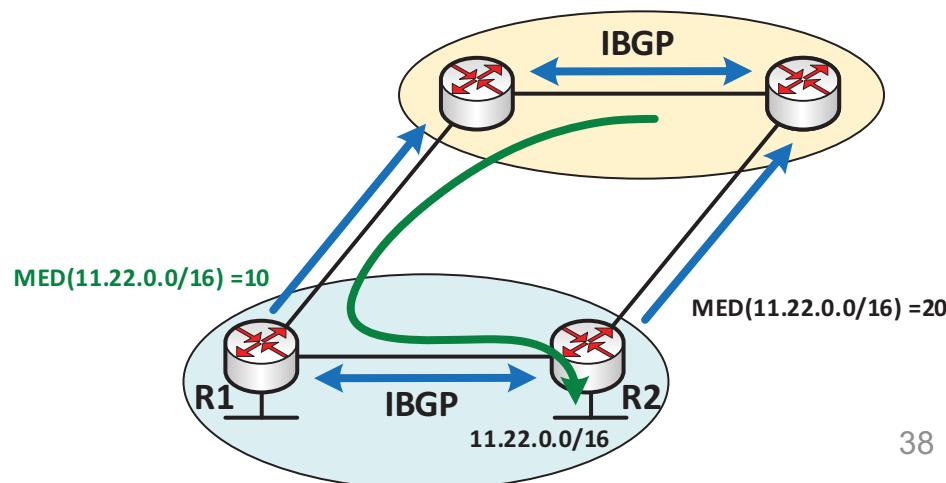
# Local Preference Atribut

- Dobre poznat neobavezan atribut (WDA)
- Dodeljuje se ruti na ulasku u AS
  - Utiče na izlazni saobraćaj iz AS
- **Lokalni atribut za jedan AS**
  - Razmenjuje se unutar AS putem IBGP
  - Ne prenosi se putem EBGP (nije tranzitivan)
- **Označava prioritet rute**
  - Veća vrednost ima prednost
  - U ruting tabelu se ubacuje ruta koja ima veći Local Preference
  - Difoltna vrednost je 100



# MED Atribut

- MED – *Multiple Exit Discriminator (Metric)*
  - Opcioni netranzitivni atribut (ONTA)
    - Kada uđe u AS, ne napušta ga
- **Dodeljuje se rutama koje izlaze iz AS-a**
  - Kontroliše dolazni saobraćaj (kada ima više veza između dva AS-a)
  - Obaveštava susedne AS o željenom dolaznom linku
- Kada se prenese u susedni AS, propagira se unutar AS-a preko IBGP
- Ima smisao metrike
  - **Niža vrednost ima prednost**



# Proces izbora najbolje rute

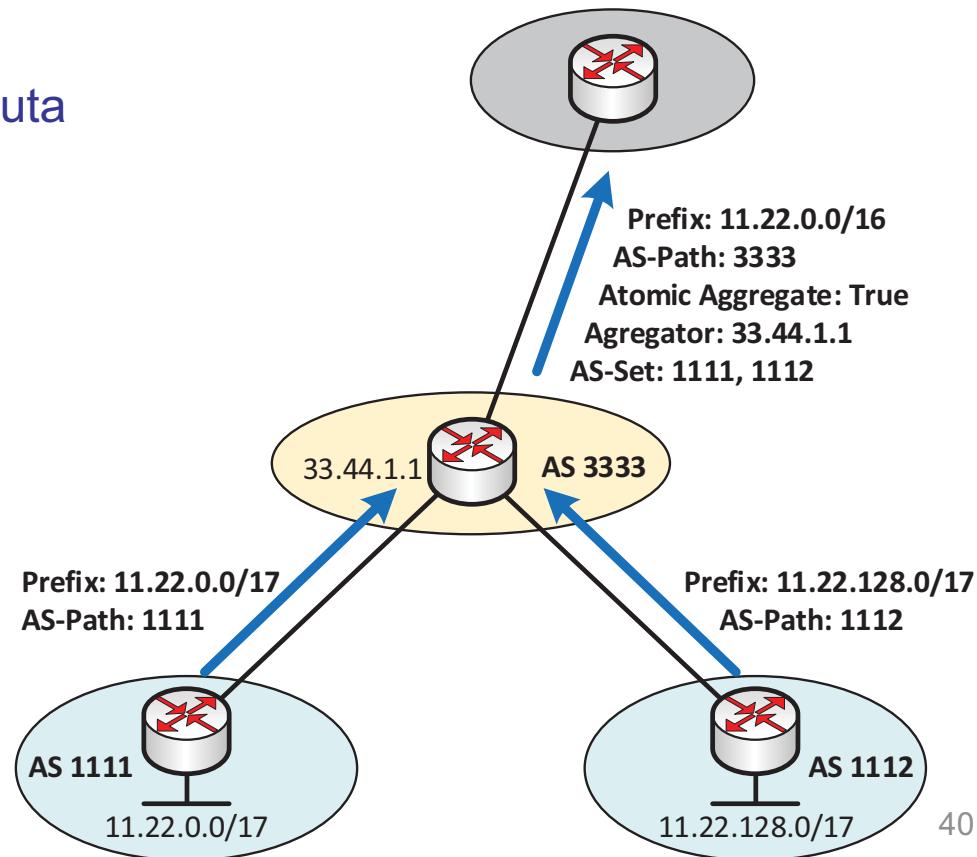
Izbor najbolje rute za jednu IP mrežu

1. Ako *Next Hop* atribut ne postoji u ruting tabeli, ruta se odbacuje
2. **Bira se ruta sa najvećom vrednošću *Local Preference* atributa**
3. **Bira se ruta sa kraćim *AS Path* atributom**
4. Bira se ruta sa nižom vrednošću *Origin* atributa  
(IGP < EGP < Incomplete)
5. **Bira se rutu sa nižom vrednošću *MED* atributa**
6. Prednost se daje ruti dobijenoj preko EBGP u odnosu na rute dobijene preko IBGP
7. Bira se ruta sa nižom IGP metrikom do BGP *Next Hop* adrese
8. Bira se ruta koja je dobijena ranije (prva koja je stigla u ruter)
9. Bira se ruta dobijena od rутera sa nižom vrednosti *Router ID*
10. Bira se putanja sa nižom vrednošću dužine klastera
11. Bira se ruta dobijena od suseda sa nižom adresom

**Samo jedna (najbolja) ruta se upisuje u ruting tabelu**

# Agregacija ruta

- Tri atributa za agregaciju – dobro poznati neobavezni (WDA)
  - **Atomic Aggregate**
    - Označava da li je izvršena agregacija - *True* ili *False*
  - **Aggregator**
    - *Router ID* rутера koji je izvršio agregaciju
  - **AS Set**
    - Skup AS brojeva iz *AS Path* atributa koji su se izgubili pri agregaciji

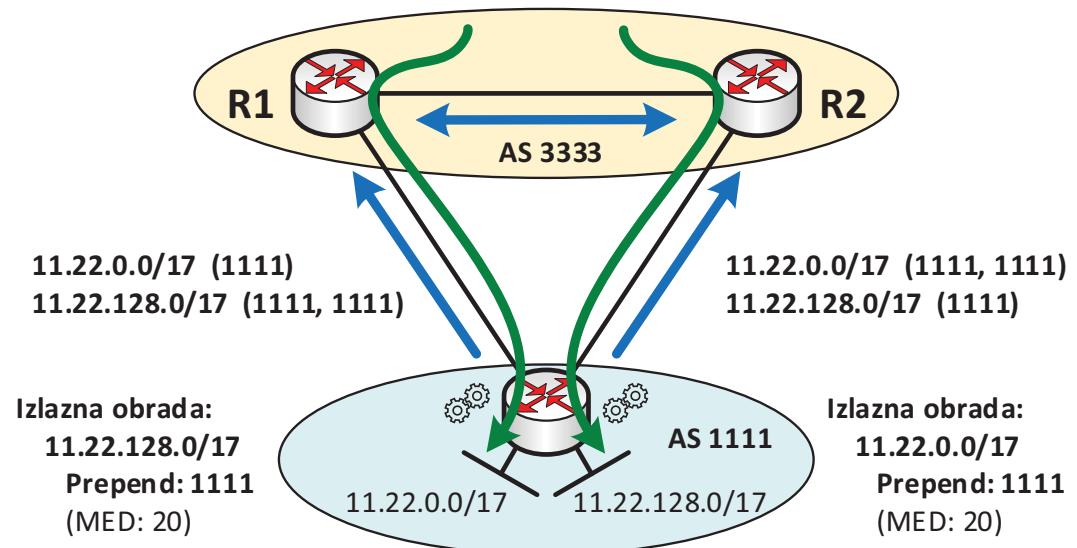


# Označavanje ruta

- **Community** – opcioni tranzitivni atribut
  - Služi za označavanje ruta (tagovanje, markiranje), obično pri oglašavanju
  - Omogućava da udaljeni ruteri prepoznaju rutu i sprovode određene akcije
  - Predstavlja vrednost od 4 bajta
    - Uobičajen način označavanja – „AS:N“
      - AS – broj autonomnog sistema
      - N – izabrana celobrojna vrednost
- Predefinisane vrednosti
  - 0xFFFFFFF01 – „No Export“
    - Ne oglasiti eBGP susedima
  - 0xFFFFFFF02 – „No Advertise“
    - Ne oglasiti nikome

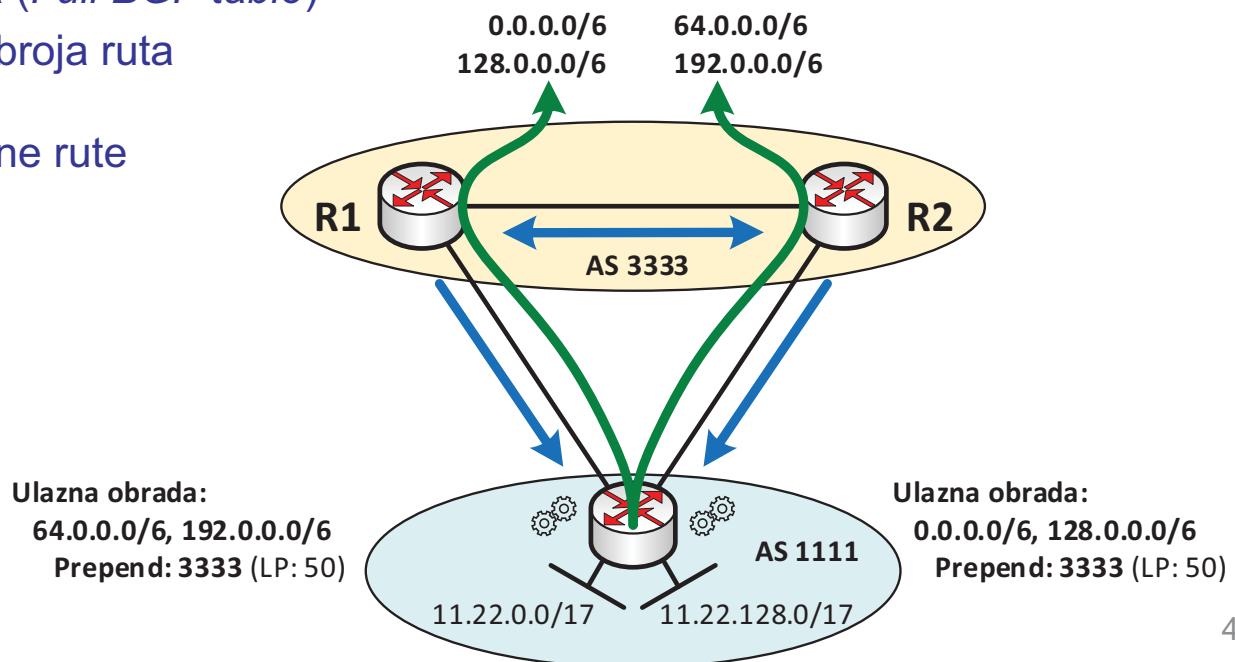
# Primer – jedan provajder

- Jedna veza samo sa jednim provajderom
  - BGP nije neophodan – može se koristi difoltna ruta
- Više veza samo sa jednim provajderom
  - BGP se može koristiti za balansiranje saobraćaja
- **Balansiranje dolaznog saobraćaja**
  - Podjela sopstvenih IP mreža na dva adresna bloka
  - Oglašavanje adresnih blokova sa različitim atributima
    - *AS Path Prepending*
    - *MED*



# Primer – jedan provajder

- Više veza samo sa jednim provajderom
  - **Balansiranje odlaznog saobraćaja**
    - Podela celokupnog IP adresnog prostora na više blokova
    - Prihvatanje različitih adresnih blokova uz promenu atributa
      - *AS Path Prepending*
      - *Local Preference*
  - Mogućnosti
    - Učitavanje svih ruta (*Full BGP table*)
    - Učitavanje manjeg broja ruta (*Partial BGP table*) i postavljanje defoltne rute



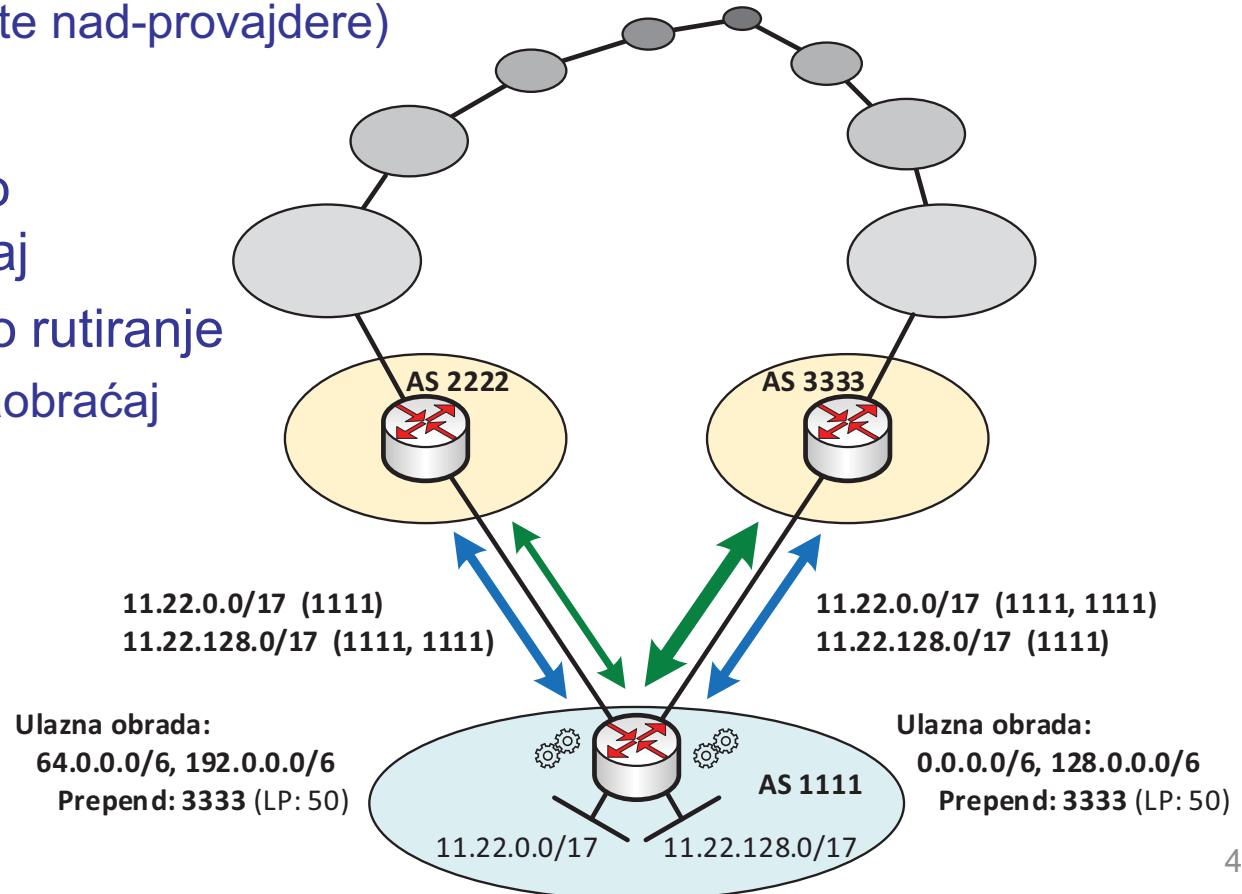
# Primer – više provajdera

- Veze sa više provajdera
  - **Balansiranje odlaznog i dolaznog saobraćaja**

- Sprovodi se slično kao u slučaju jednog provajdera
- Efikasnije je ako su provajderi „udaljeni“ jedni od drugih (povezani na različite nad-provajdere)

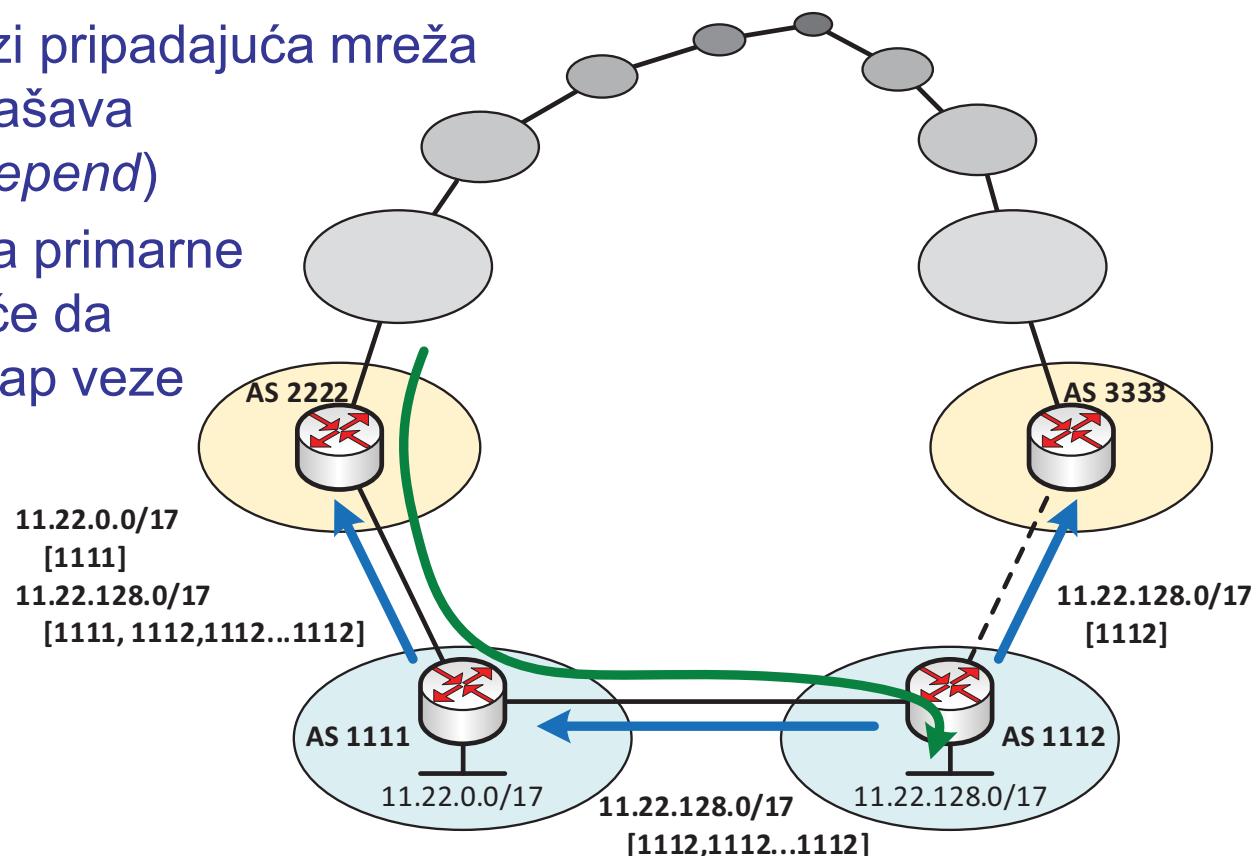
- Problemi

- Ne može se idealno balansirati saobraćaj
- Moguće asimetrično rutiranje
  - Odlazni i dolazni saobraćaj se prenosi po različitim linkovima



# Tranzitni saobraćaj za bekap vezu

- Autonomni sistemi mogu jedan drugom da omoguće bekap vezu u slučaju prekida primarne veze
  - Prema drugom AS-u se oglašava pripadajuća mreža sa *AS Path Prepend* – veći broj AS brojeva
  - Na primarnoj vezi pripadajuća mreža se regularno oglašava (bez *AS Path Prepend*)
  - U slučaju prekida primarne veze saobraćaj će da dolazi preko bekap veze

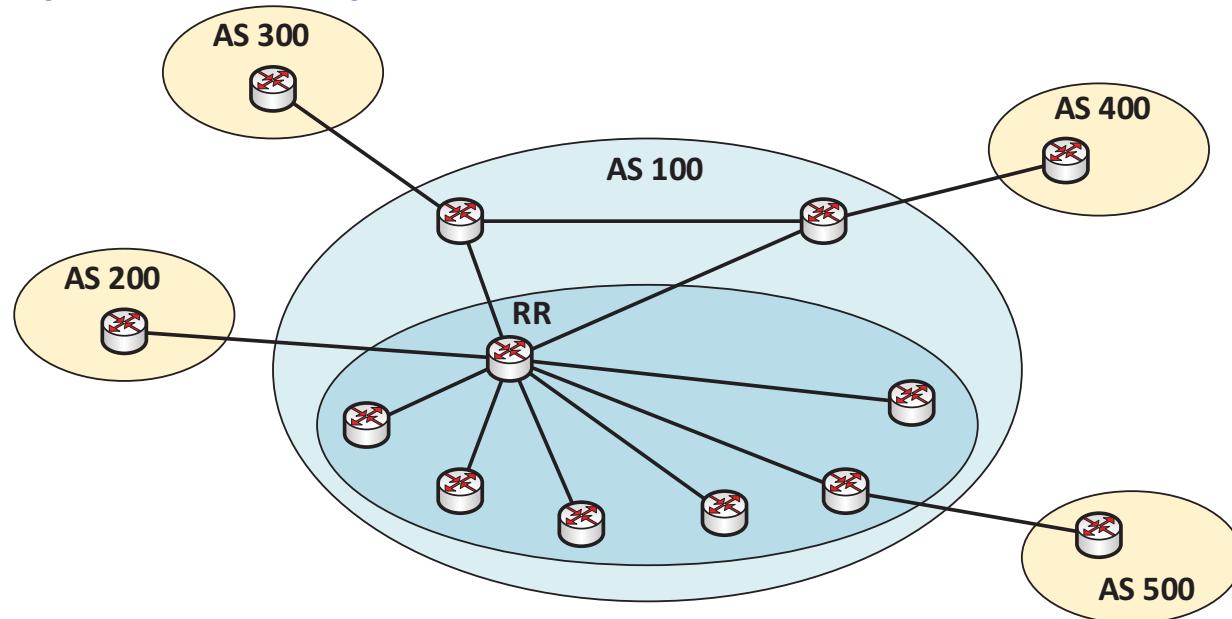


# IBGP skalabilnost

- EBGP:
  - Globalno posmatrano, ceo AS predstavlja jednu tačku
- IBGP:
  - Unutar AS-a se ne menja *AS Path* atribut
    - *AS Path* ne može da se koristi za otklanjanje petlji unutar AS-a
  - Rute dobijene putem IBGP ne prosleđuju se drugim IBGP susedima!
  - Posledica
    - Mora da postoji potpun graf povezanosti IBGP suseda – ukupno  $n(n-1)/2$
    - Neskalabilno - ograničen broj IBGP ruter u jednom AS-u
  - Rešenje – segmentacija IBGP funkcionalnosti unutar AS-a
    - *Route Reflector* – Reflektor ruta
    - *Confederation* – Konfederacije

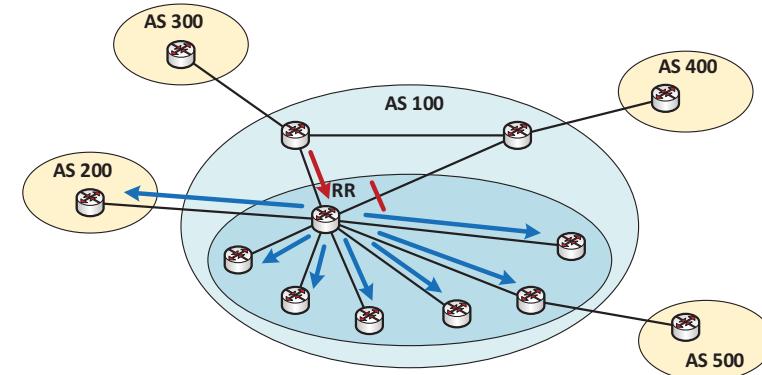
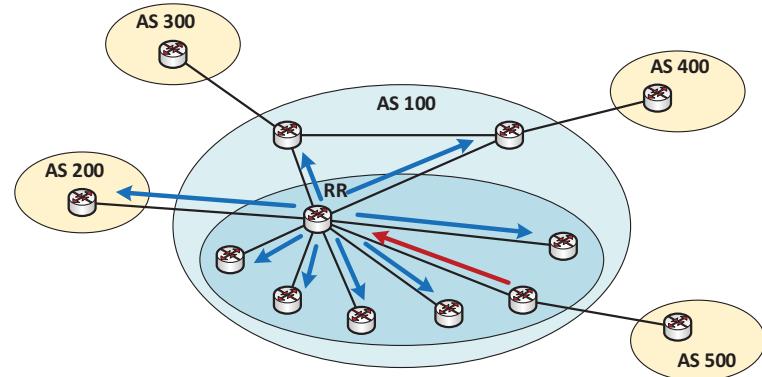
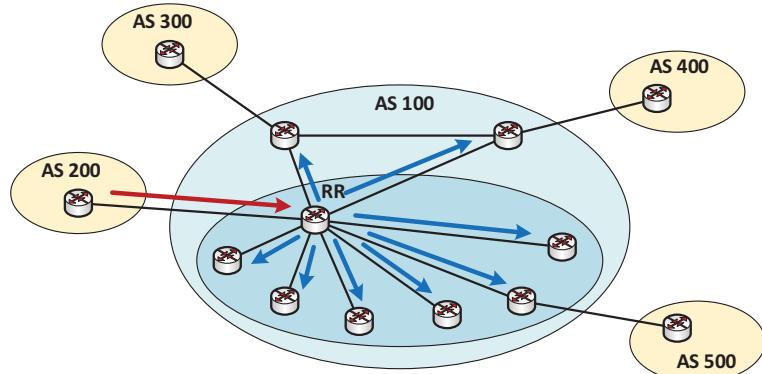
# Reflektor ruta

- *Route Reflector* – Reflektor ruta (klasterizacija)
  - Izdvajanje određenog broja IBGP ruter u tzv. klaster (*cluster*)
    - Reflektor ruta (RR) – centralni uređaj u klasteru
    - Klijenti – ostali IBGP ruteri u klasteru – direktni IBGP susedi sa RR
  - Ceo klaster simulira rad jednog IBGP ruteru
    - Unutar klastera RR prenosi rute između klijenata („reflektuje rute“)
    - RR gradi susedstvo sa ostalim IBGP ruterima koji nisu u klasteru
  - Klaster ima svoju identifikaciju, tzv. *Cluster ID* – obično IP adresa od RR



# Reflektor ruta

- Princip rada RR kada dobije rutu (*Update* poruka)
  - Ako je ruta dobijena od EBGP suseda
    - Ruta se prosleđuje svim susedima (klijentima i ostalim IBGP i EBGP ruterima)
  - Ako je ruta dobijena od klijenta iz klastera
    - Ruta se prosleđuje svim susedima (klijentima, i ostalim IBGP i EBGP ruterima)
  - Ako je ruta dobijena od IBGP suseda koji nije klijent
    - Ruta se prosleđuje samo klijentima u klasteru i EBGP susedima

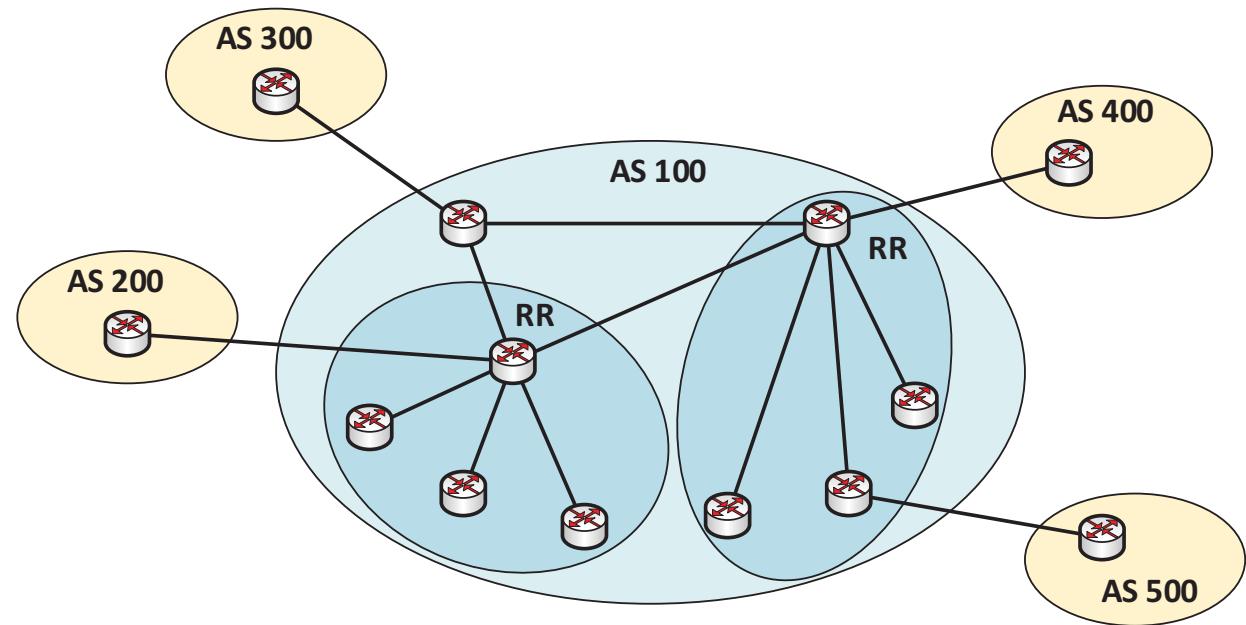


# Reflektor ruta

- Redundantnost – obično dva RR u klasteru
  - Svi klijenti uspostavljaju susedstvo sa oba RR u klasteru
    - Može i indirektno susedstvo, ali ne preko drugog RR, jer se gubi redundantnost
- Problem
  - Prosleđivanje ruta između dva RR može da stvori petlju pri rutiranju
- Rešenje – dodatni atributi
  - *Originator ID*
    - *Router ID* od rутера koji je poslao rutu
  - *Cluster List*
    - Niz identifikatora klastera unutar AS-a (slično *AS Path* atributu)
    - RR pri oglašavanju rute dodaje identifikaciju klastera u listu
    - Ruta se odbacuje ako se prepozna identifikator pripadajućeg klastera

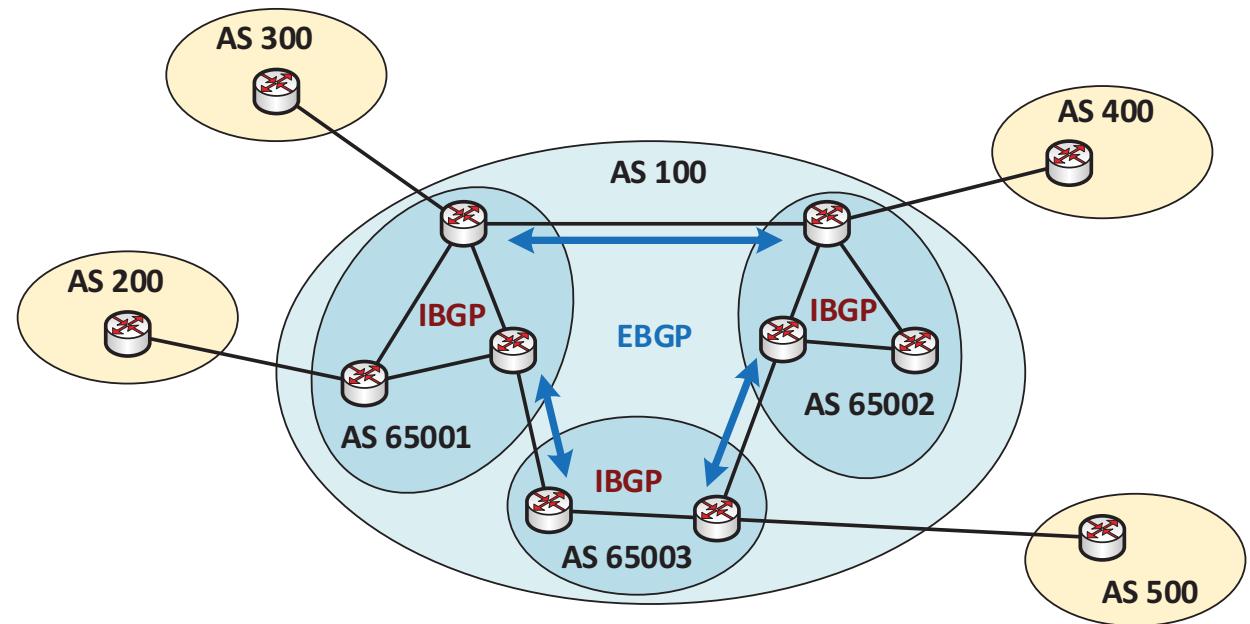
# Reflektor ruta

- Više klastera u jednom AS-u
  - Svaki klaster radi nezavisno
  - Međusobno su povezani svako-sa-svima
  - Dodatno omogućava skalabilnost i fizičko grupisanje IBGP ruteru



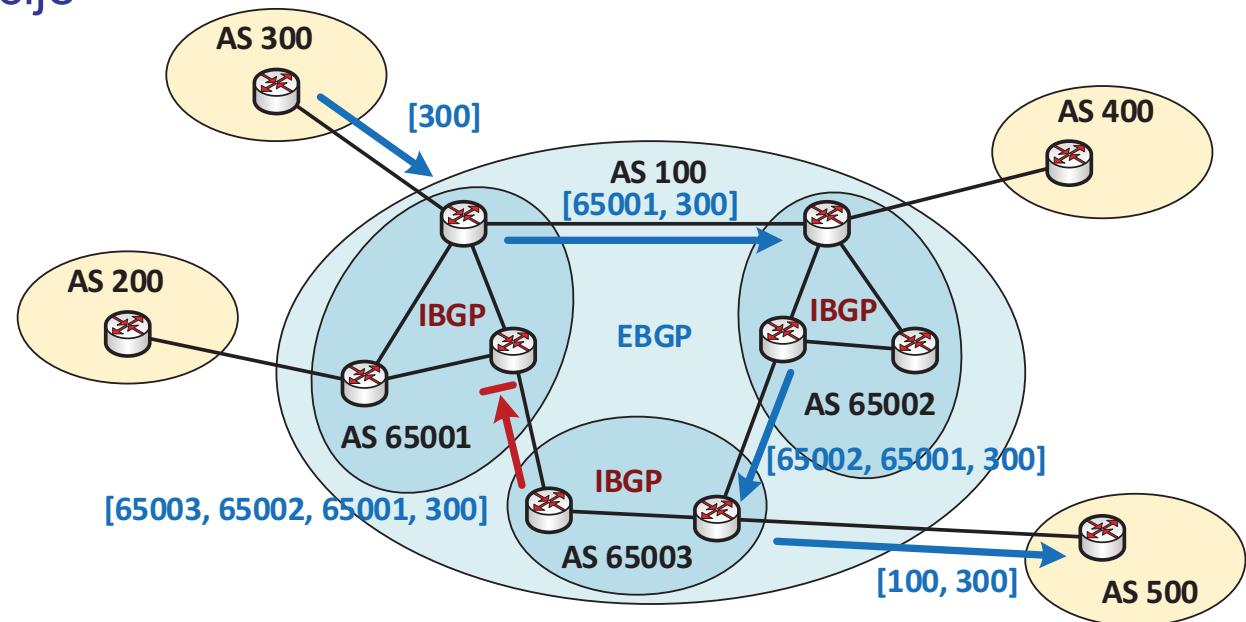
# Konfederacije

- Konfederacija
  - AS se deli na više manjih delova, tzv. pod-AS (*Sub-AS*)
  - Pod-AS koristi tzv. privatne identifikatore – opseg od 64512 do 65535
  - Unutar pod-AS se koristi IBGP
  - **Između pod-AS se koristi EBGP, ali je prenos atributa kao kod IBGP**
    - Prenose se *Local Preference*, MED i drugi netranzitivni atributi



# Konfederacije

- Prenošenje *AS Path* atributa
  - Unutar posmatranog AS, između pod-AS
    - Dodaju se privatni AS brojevi – zaštita od petlji
  - Na izlasku iz AS
    - Brišu se svi privatni AS brojevi
- Unutrašnja organizacija AS-a nevidljiva prema spolju
  - Funkcionalnost je ista bez obzira da li se koristi IBGP ili ne, sa ili bez RR ili konfederacije

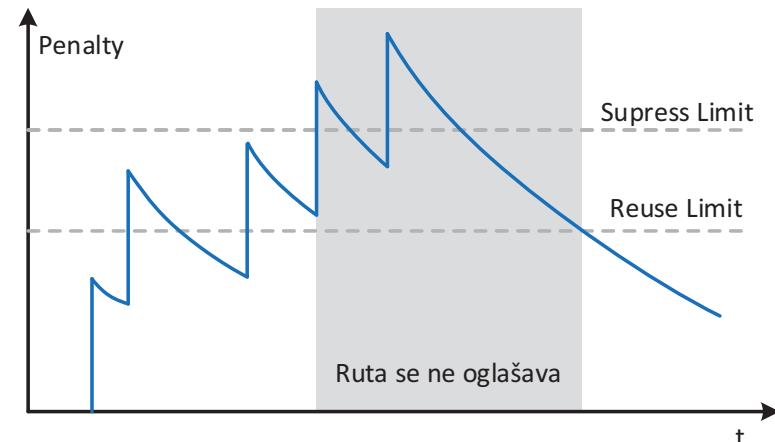


# Proces izbora najbolje rute

- Sa konfederacijam se modifikuje proces izbora najbolje rute
  - Menja se pravilo broj 6:
    - „Prednost se daje ruti dobijenoj preko EBGP u odnosu na rute dobijene preko IBGP“
  - Novo pravilo:
    - „Prednost se daje ruti dobijenoj preko EBGP od spoljašnjih AS, a zatim ruti dobijenoj preko EBGP od drugo pod-AS (unutar konfederacije), u odnosu na rute dobijene preko IBGP“

# Ograničavanje čestih promena

- BGP rute propagiraju po celom Internetu i utiču na rad svih BGP ruteru
  - Česte promene nisu poželjne i treba ih sprečiti
- *Route Flap Damping* – zaštita od česti promena (RFC 2439)
  - Svakoj ruti se dodeljuje tzv. *Penalty*
    - Inicijalna vrednost je 0
  - Kada se ruta promeni (promeni se bilo koji atribut):
    - *Penalty* se povećava za određenu vrednost
  - Kada nema promena rute za fiksno definisano vreme (*Half Life*):
    - *Penalty* se smanjuje na polovinu vrednosti („vreme polu-raspada“)
- Dve granične vrednosti:
  - *Supress Limit* – gornja granica
    - Kada *Penalty* pređe preko – početak suspenzije
      - Ruta se više ne oglašava drugim ruterima
  - *Reuse Limit* – donja granica
    - Kada *Penalty* padne ispod – kraj suspenzije
      - Ruta se ponovo oglašava drugim ruterima



# Multiprotocol BGP

- Originalni BGP (v4) – samo za IPv4 adrese
- *Multiprotocol Extensions for BGP-4* (RFC 2283, 1998; RFC 4760, 2007)
  - Omogućava prenos ruta i atributa drugih protokola – IPv4
- Novi atributi:
  - *Multiprotocol Reachable NLRI* – adrese koje oglašavaju
    - *Address Family Identifier* – vrsta adrese, 2 bajta
    - *Length of Next Hop Network Address*, 1 bajt
    - NLRI – mrežna adresa koja se oglašava
      - *Length* – dužina maske, 1 bajt
      - *Prefix* – vrednost mrežne adrese
    - *Next Hop*
  - *Multiprotocol Unreachable NLRI* – adrese (rute) koje se brišu
    - *Address Family Identifier* – vrsta adrese, 2 bajta
    - *Withdrawn Routes NLRI* – lista adresa koje se brišu, varijabilna dužina

# Komande za uvid u stanje BGP procesa

- Pregled sumarnih BGP podataka, uključujući i susede

```
cisco6509#show ip bgp summary
BGP router identifier 147.91.0.112, local AS number 13092
BGP table version is 7948641, main routing table version 7948641
231996 network entries using 26215548 bytes of memory
916880 path entries using 44010240 bytes of memory
166184/40989 BGP path/bestpath attribute entries using 16618400 bytes of memory
149650 BGP AS-PATH entries using 5010050 bytes of memory
719 BGP community entries using 54846 bytes of memory
1 BGP extended community entries using 24 bytes of memory
11 BGP route-map cache entries using 352 bytes of memory
0 BGP filter-list cache entries using 0 bytes of memory
BGP using 91909460 total bytes of memory
230725 received paths for inbound soft reconfiguration
BGP activity 461155/219523 prefixes, 3578344/2640492 paths, scan interval 60 secs
```

Neighbor	V	AS	MsgRcvd	MsgSent	TblVer	InQ	OutQ	Up/Down	State/PfxRcd
147.91.0.3	4	13092	33130	44767	7948641	0	0	3w1d	14
147.91.8.77	4	6701	36200	33085	7948623	0	0	3w1d	83
160.99.1.12	4	13303	32342	33593	7948623	0	0	05:19:26	1
195.111.106.254	4	1955	1427338	32729	7948623	0	0	1w1d	945683
195.178.34.57	4	8400	2337131	33086	7948623	0	0	3w1d	940074
195.178.35.17	4	8400	0	0	0	0	0	never	Idle
195.251.4.45	4	34771	1042768	33245	7948623	0	0	1w0d	230296

# Komande za uvid u stanje BGP procesa

- Pregled BGP tabele

```
cisco6509#show ip bgp
BGP table version is 5011434, local router ID is 147.91.0.112
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

      Network          Next Hop            Metric LocPrf Weight Path
*   0.0.0.0          195.178.34.57      150          0 8400 8400 i
*>
*> 3.0.0.0          195.178.35.17
*   195.178.34.57      150          0 8400 8400 702 703 80 i
*   195.251.4.44
*   4.0.0.0          195.178.34.57      150          0 8400 8400 5400 3356 i
*   195.178.35.17
*> 195.251.4.44
*   4.23.84.0/22     195.178.34.57      150          0 8400 8400 5400 6461 20171 i
*> 195.178.35.17
*   195.251.4.44
*   4.23.112.0/22    195.178.34.57      150          0 8400 8400 5400 174 21889 i
*> 195.178.35.17
*   195.251.4.44
*   4.23.180.0/24    195.178.34.57      150          0 8400 8400 5400 6128 30576 i
*> 195.178.35.17
*   195.251.4.44
```

# Pomoći alati - *Looking Glass*

- ***Looking Glass*** – uvid u stanje na udaljenim ruterima
  - Spisak podržanih sajtova: <http://traceroute.org/#Looking%20Glass>

- Primeri:

- <http://bgp.he.net/>
- <http://integra.net/lg/>
- <http://lg.telekom.rs>
- <http://lg.eastlink.ca/>
- <http://lg.enta.net/>
- <http://lg.df.ru/>
- <http://merry.netsys.more.net/lg/index.cgi>
- <http://lg.lan.switch.ch/lg/lg.cgi>
- <http://lg.gin.ru/lg/>
- [https://www.pch.net/tools/looking\\_glass](https://www.pch.net/tools/looking_glass)

The screenshot shows the 'BT Global Services: Looking Glass' page. At the top, there's a navigation bar with links for Home, Tools, Network Information, Looking Glass, and IP Performance. Below the navigation is a sub-menu for 'Looking Glass'. A main heading 'BT Global Services: Looking Glass' is followed by a welcome message: 'Welcome to the BT Global Services Looking Glass site where we allow you restricted access to the network information from a subset of our access and peering routers.' A note below states: 'The following table lists the requests that we currently allow you to perform on our routers. All these queries will require you to input some further information. This extra information may be an IP address or DNS name, or an AS path regular expression, or you may be required to choose one of the routers on the BT Global Services core network on which you would like us to execute your request.' A section titled 'Please choose a tool from the list below:' contains a grid of radio buttons for various network operations: Ping, Traceroute; Nslookup, Dig; IP Route, BGP Summary; BGP Dampened-Paths, BGP Flap-Statistics; BGP Network, BGP AS path regexp; BGP AS path quote-regexp, BGP Neighbours. There are 'SUBMIT' and 'RESET' buttons at the bottom of this section. A footer note at the bottom of the page reads: 'Please be aware that the use of these tools will be strictly monitored by BT Global Services personnel. Please see the BT Global Services [Acceptable Use Policy](#) for further details.'

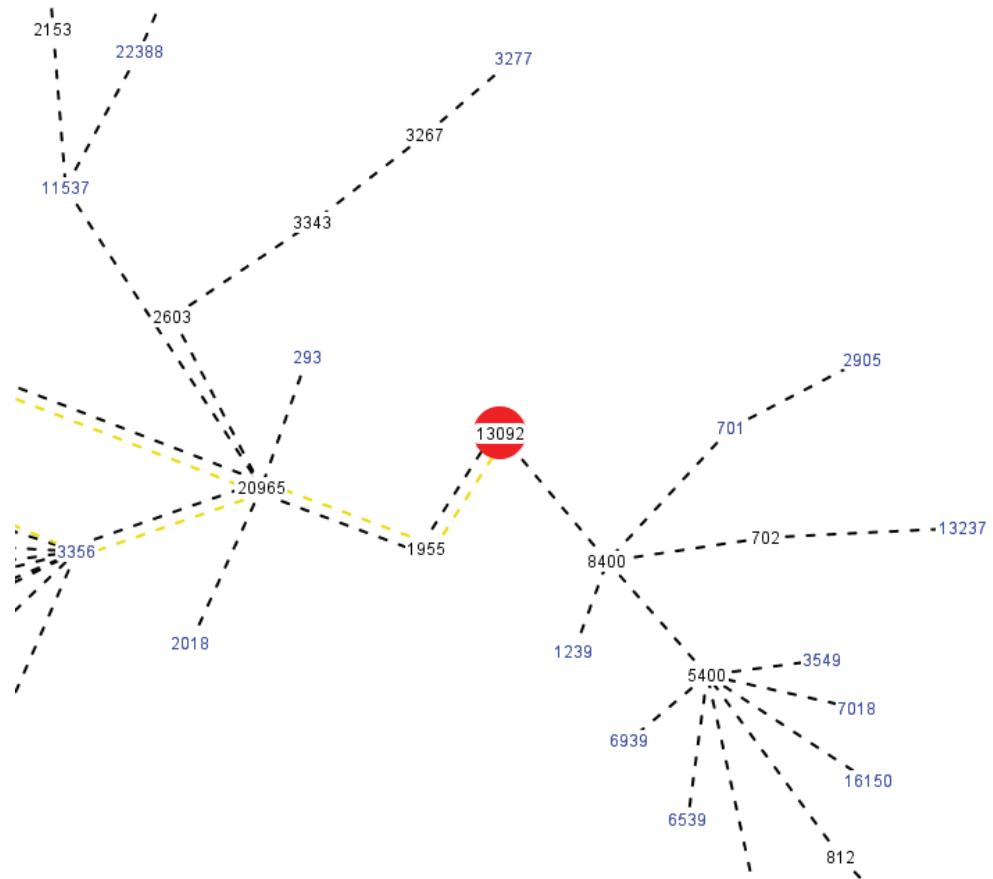
The screenshot shows the same 'BT Global Services: Looking Glass' page. In the 'Looking Glass' sub-menu, a 'Query' dropdown is set to 'BGP Network'. The 'Router' field is set to 'Austria.t2a1.atvie' and the 'Address' field is set to '147.91.0.0'. Below the form, a large block of text displays the BGP routing table entry for the specified address, including details like Prefixes, Next-Hop, Originator ID, Cluster List, and Local Preference values.

Query:	BGP Network
Router:	Austria.t2a1.atvie
Address:	147.91.0.0

```
BGP routing table entry for 147.91.0.0/17, version 27825410
Prefix: 147.91.0.0/17 (metric 156) via 166.49.166.32 (166.49.166.32)
Ppaths: (2 available, best #2)
Multipath: eBGP
Advertiser: update-groups:
          1
          8400 8400 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092
          166.49.166.73 (metric 156) from 166.49.166.32 (166.49.166.32)
          Origin IGP, metric 0, localpref 190, valid, internal
          Community: 5400:49
          Originator: 166.49.166.73, Cluster list: 166.49.166.32, 166.49.166.64
          8400 8400 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092
          166.49.166.73 (metric 156) from 166.49.166.65 (166.49.166.65)
          Origin IGP, metric 0, localpref 190, valid, internal, best
          Community: 5400:49
          Originator: 166.49.166.73, Cluster list: 166.49.166.65
```

# Pomoćni alati - BGPlay

- Aplikacija za praćenje BGP podataka tokom vremena
  - Ostvaruje komunikaciju sa BGP ruterom
  - Prikuplja rute i prati promene
  - Daje grafički prikaz AS topologije tokom vremena



# Literatura

- Sam Halabi  
“Internet Routing Architectures”,  
Cisco Press
- Pavle Vuletić  
„Računarske mreže 2“  
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu

# Internet tehnologije

## BGP - *Border Gateway Protocol* - drugi deo -

Predavač:

Prof. dr Slavko Gajin, [slavko.gajin@rcub.bg.ac.rs](mailto:slavko.gajin@rcub.bg.ac.rs)

Asistent:

Zlatko Dejanović, [zlatko.dejanovic@etfbl.net](mailto:zlatko.dejanovic@etfbl.net)

2019. god

# BGP atributi

- Rute (NLRI) se između BGP suseda prenose u UPDATE porukama
- Osim IP adrese i maske mreže, rute dodatno sadrže pojedine attribute
- Atributi se dele u 4 grupe:
  - **Dobro poznati** – moraju biti podržani na uređaju
    - obavezni (*Well-known Mandatory*)
    - neobavezni (*Well-known Discretionary*)
  - **Opcioni** – ne moraju biti podržani na uređaju
    - prenosivi (*Optional Transitive*)
    - neprenosivi (*Optional Nontransitive*)
- Atributi utiču na izbor najbolje rute (uvek samo jedna ruta)
- Konfiguracija BGP-a podrazumeva upravljanje rutiranjem, tako što se manipuliše atributima na pojedinačnim rutama:
  - Prihvatanje ruta u zavisnosti od vrednosti pojedinih atributa
  - Filtriranje ruta na osnovu pojedinih atribura
  - Izmena pojedinih atributa prilikom slanja ili primanja ruta

# BGP atributi – dobro poznati

- **Dobro poznati obavezni**  
*(Well-known Mandatory - WMA)*
  - Moraju da postoje u svakoj BGP Update poruci
  - pridružen odgovarajućoj ruti
  - Sve implementacije BGP-a moraju da ga prepozna
  - Nedostatak ovih atributa u Update poruci generiše grešku  
*(notification)*
  - može da se modifikuje (npr. AS-PATH)
  - uvek su prenosivi u druge AS-ove - tranzitivni
- **Dobro poznati neobavezni**  
*(Well-known discretionary - WDA)*
  - Atribut koji prepozna sve BGP implementacije i u skladu sa njim se ponašaju
  - ne mora da bude pridružen nekom ruti
  - mogu biti i prenosivi i neprenosivi (iz jednog AS-a u drugi AS)

# BGP atributi – opcioni

- **Opcioni prenosivi**  
*(Optional transitive - OTA)*
  - Atribut koji ne moraju da prepoznaju sve BGP implementacije i da se ponašaju u skladu sa njim (opcioni)
  - Ako ruter dobije ovakav atribut koji ne prepoznaje, onda treba da ga prosledi ostalim BGP susedima (prenosivost), čak i kada ga ne prepoznaje
- **Opcioni neprenosivi**  
*(Optional nontransitive - ONTA)*
  - Atribut koji ne moraju da prepoznaju sve BGP implementacije i da se ponašaju u skladu sa njim (opcioni)
  - Ako ruter dobije ovakav atribut ne prosleđuje dalje

# Uobičajeni BGP atributi

- Uobičajeni BGP atributi
  - Next Hop
  - AS\_Path
  - Atomic Aggregate
  - Aggregator
  - Local Preference
  - Weight
  - Multiple Exit Discriminator (MED)
  - Origin

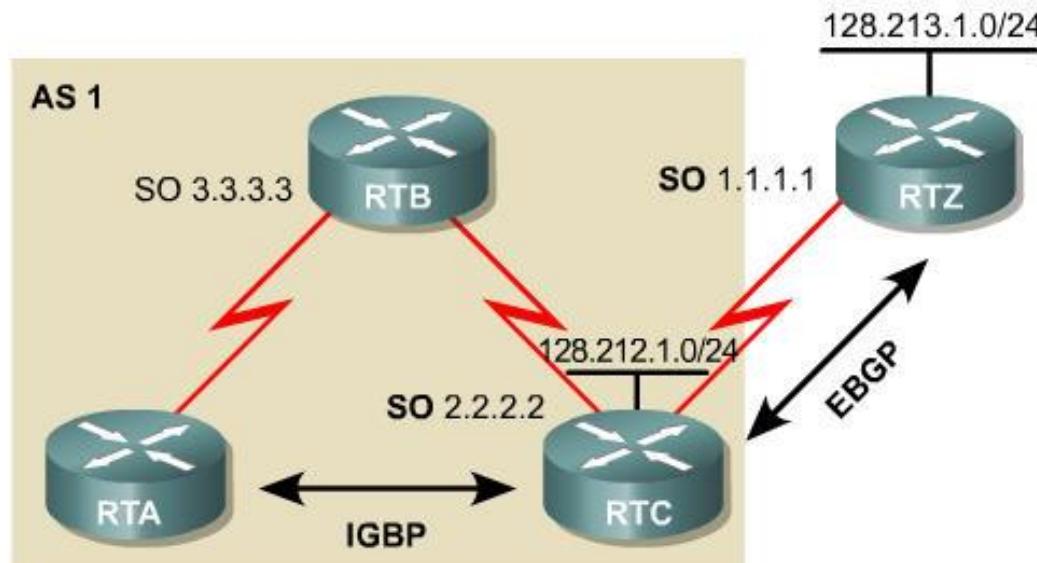
# Next hop atribut

- Dobro poznat obavezan atribut (WMA)
- **Next hop – IP adresa rutera koji vodi ka oglašenoj ruti** (obično adresa rutera koji je oglasio rutu)
- Next hop ne mora nužno da bude susedni ruter, odnosno na direktno povezanim mrežnim segmentu
- Pravila kako BGP koristi next hop atribut:
  - U EBGP sesijama, next hop je IP adresa EBGP suseda koji je oglasio datu rutu.
  - U IBGP sesijama, ako su rute oglašene unutar samog AS, next hop je IP adresa rutera unutar AS koji je oglasio datu rutu.
  - U IBGP sesijama, ako su rute oglašene u AS iz nekog drugog AS putem EBGP, Next hop koji je dođen putem EBGP se unosi nepromenjen u IBGP (iz drugog AS-a)
- **Ruter mora da ima u svojoj ruting tabeli rutu ka IP adresi označenoj u Next hop atributu, inače ruta neće biti ubaćena u ruting tabelu**  
(da bi mogao da prosledi saobraćaj)

# Next Hop atribut

Ruter RTA - naučio je rute preko IBGP-a:

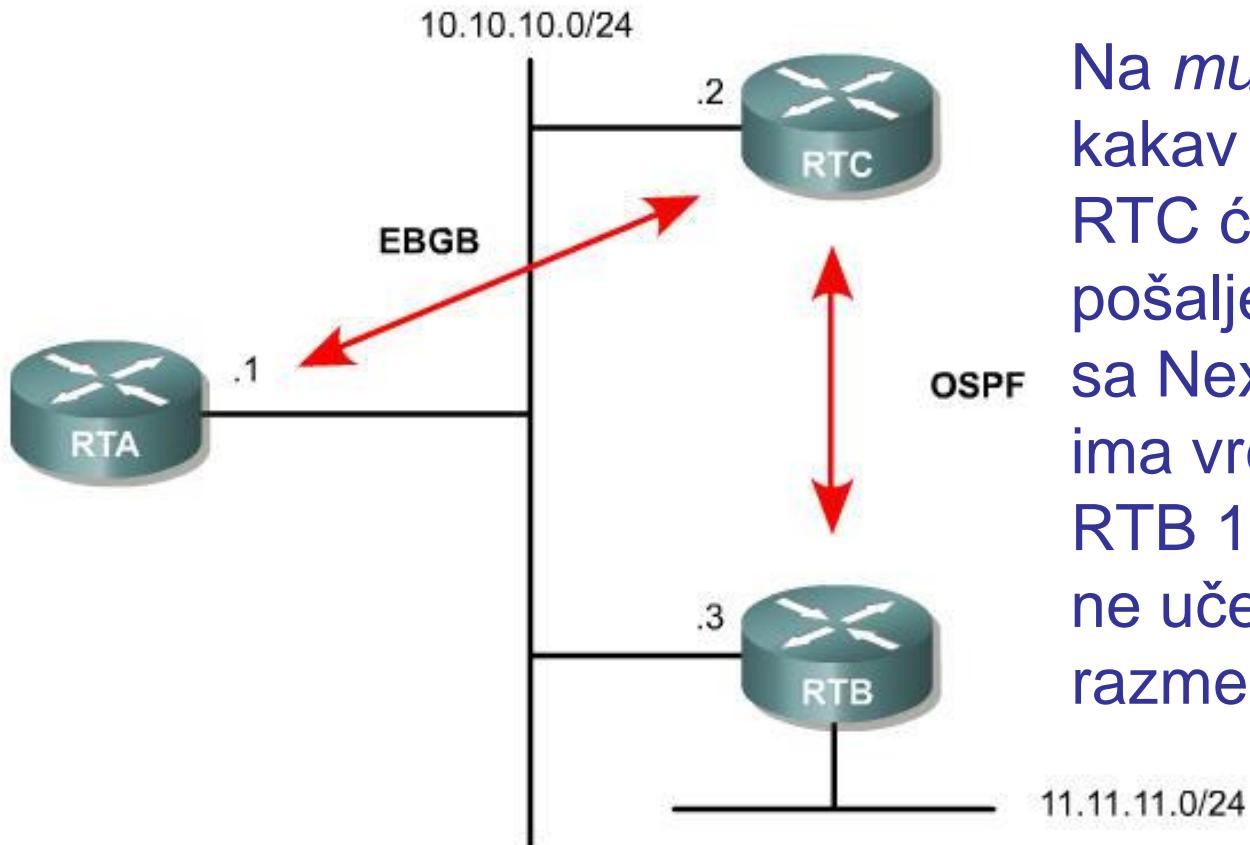
- next-hop za  $128.213.1.0/24$  je  $1.1.1.1$  ( ruta je ušla AS preko EBGP)
- next-hop za  $128.212.1.0/24$  je  $2.2.2.2$  ( ruta pripada AS-u)
- u ruting tabeli mora da ima rute za adrese  $1.1.1.1$  i  $2.2.2.2$  da pi prosledio pakete na mreže  $128.213.1.0/24$  i  $128.212.1.0/24$



Can reach  $128.213.1.0$  by way of  $1.1.1.1$  and can reach  $128.212.1.0$  by way of  $2.2.2.2$

Can reach  $128.213.1.0$  by way of  $1.1.1.1$

# Next Hop na Multiaccess segmentima



Na *multiaccess* segmentu, kakav je Ethernet, ruter RTC će ruteru RTA da pošalje rutu 11.11.11.0/24 sa Next-hop atributom koji ima vrednost adrese rute RTB 10.10.10.3, iako on ne učestvuje u BGP razmeni ruta.

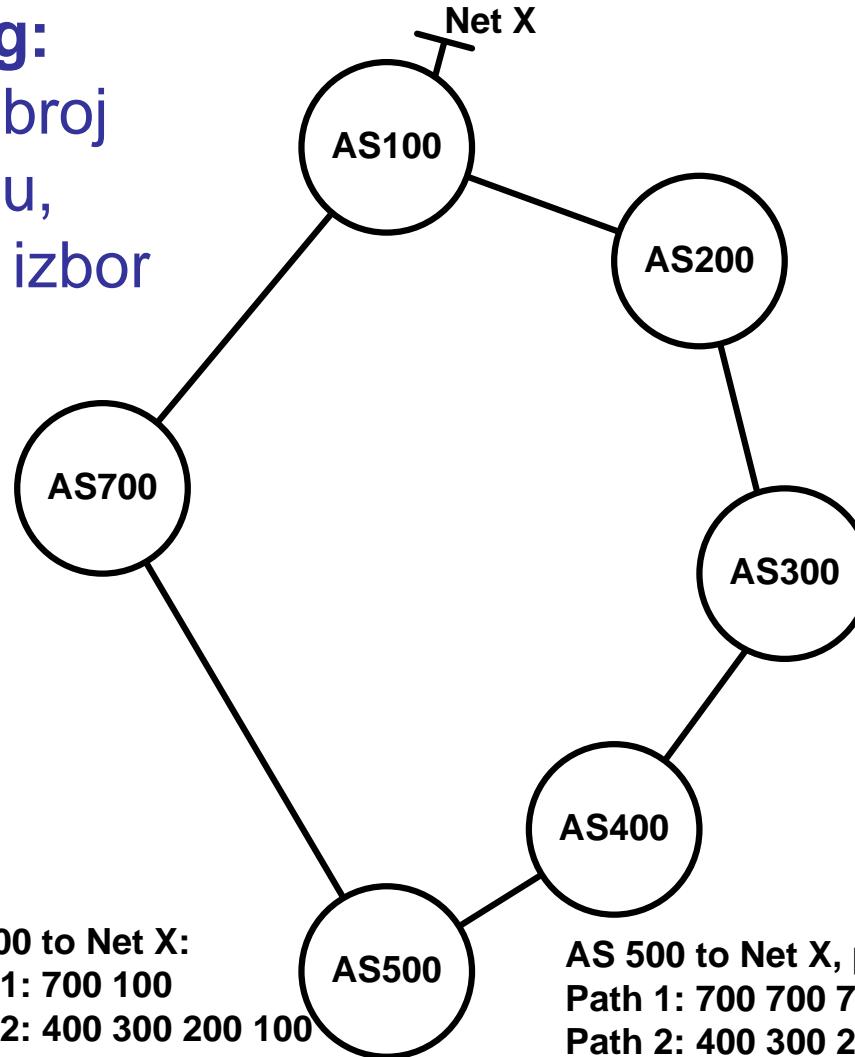
# AS\_Path Atribut

- Dobro poznat obavezan atribut (WMA)
- AS koji oglašava neku rutu dodaje broj svog AS u ASpath atribut pridružen datoj ruti
- Svaki sledeći AS dodaje (**prepend**) broj svog AS datoј ruti prilikom prosleđivanja narednom AS
- Detektuje i sprečava eventualne petlje u oglašavanju i rutiranju
  - Ukoliko ruter prepozna broj svog AS u AS Path atributu, ruta se odbacuje
- Dužina AS\_path - osnovni kriterijum izbora najbolje putanje
  - Kraći AS Path označava rutu sa boljom metrikom koja će biti ubaćena u ruting tabelu.

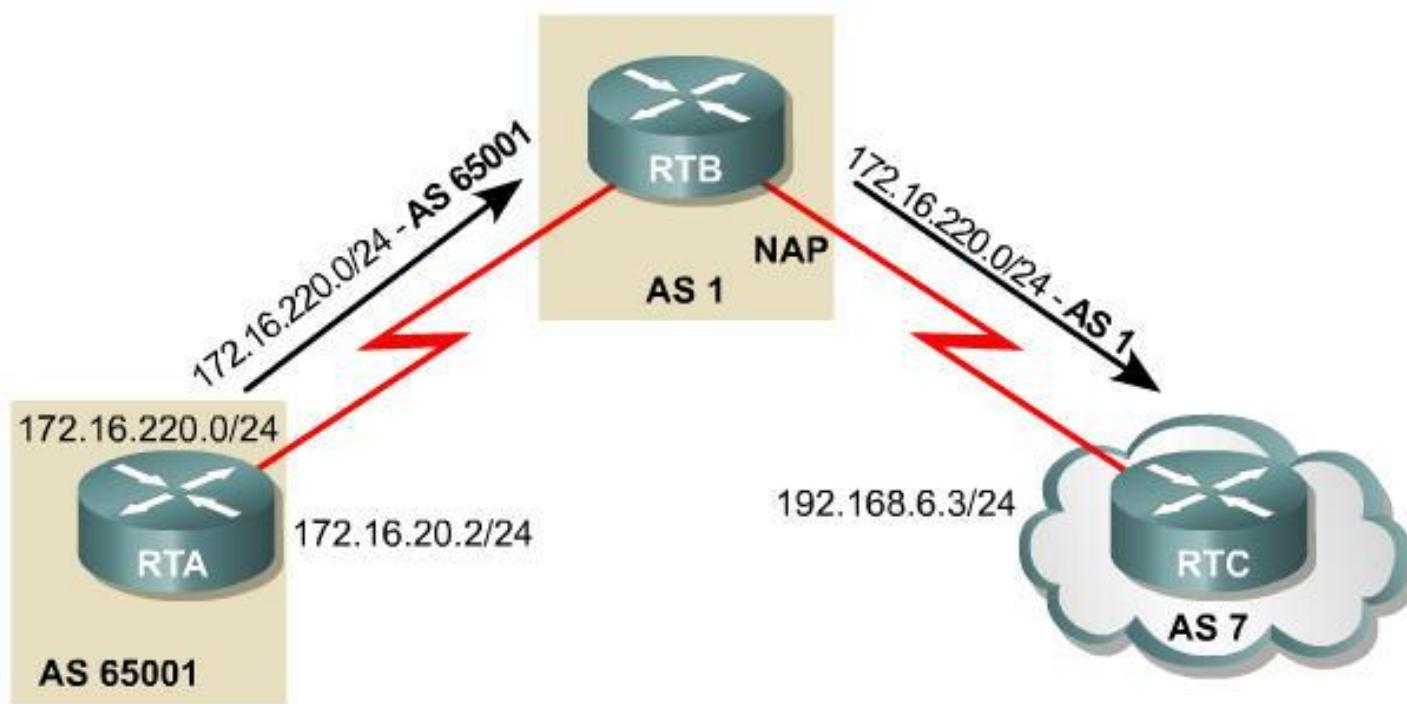
# AS Path prepending

## AS Path Prepending:

Veštačko povećanje broj AS u AS-Path atributu, kako bi se uticalo na izbor najbolje rute



# AS\_Path i privatni AS brojevi



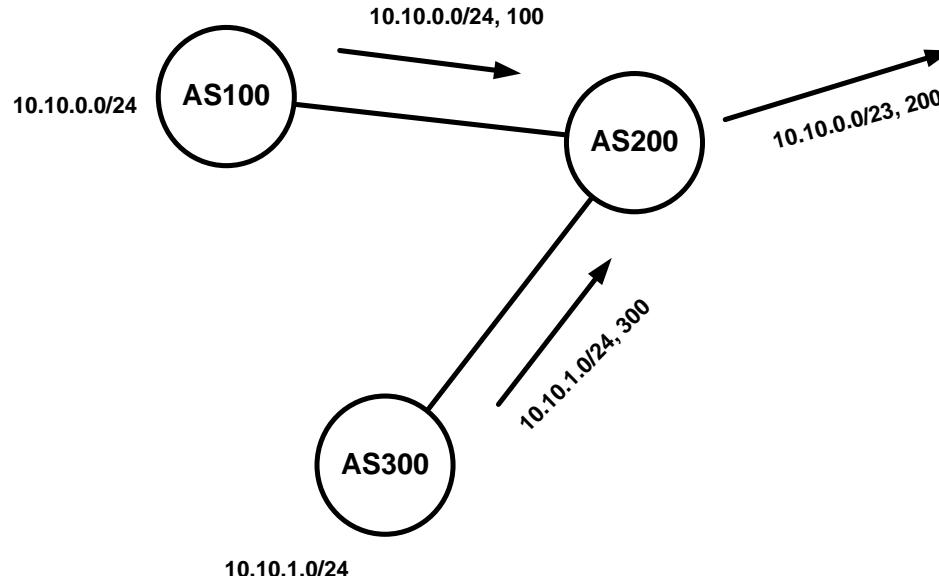
Privatni AS brojevi moraju da se skinu iz AS Path atributa pre nego što neka ruta prođe ka ostatku Interneta.

# Origin Atribut

- Dobro poznat obavezan atribut (WMA)
- Origin atribut govori o poreklu rute/prefiksa
- Koristi se u izboru najbolje rute
- Vrste origin atributa:
  - **IGP** (0) – Prefiks je dobijen direktnim oglašavanjem u konfiguraciji BGP protokola (network komanda)
  - **EGP** (1) – Prefiks je dobijen iz EGP (prethodna verzija eksternog protokola), danas se ne koristi
  - **Incomplete** (2) – Prefiks je dobijen redistribucijom u BPG
- **Veći prioritet imaju rute sa manjom vrednosti Origin atributa**

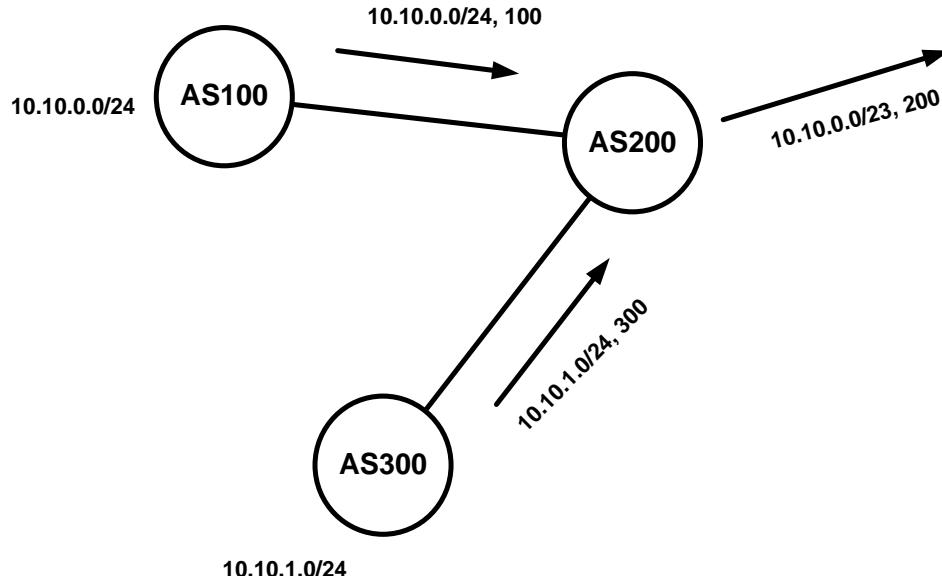
# Atomic Aggregate atribut

- Dobre poznat neobavezan atribut (WDA)
- Koristi se kod agregacije ruta i označava gubitak informacija u AS Path atributu
- Može da ima vrednost True ili False.
- Ako je True, znači da je dati prefiks ( ruta) agregiran od više različitih prefiksa.
- Ruter koji je poslao prefiks sa Atomic Aggregate atributom sa vrednošću True je izvršio agregaciju ruta i ima specifičnije rute do destinacija



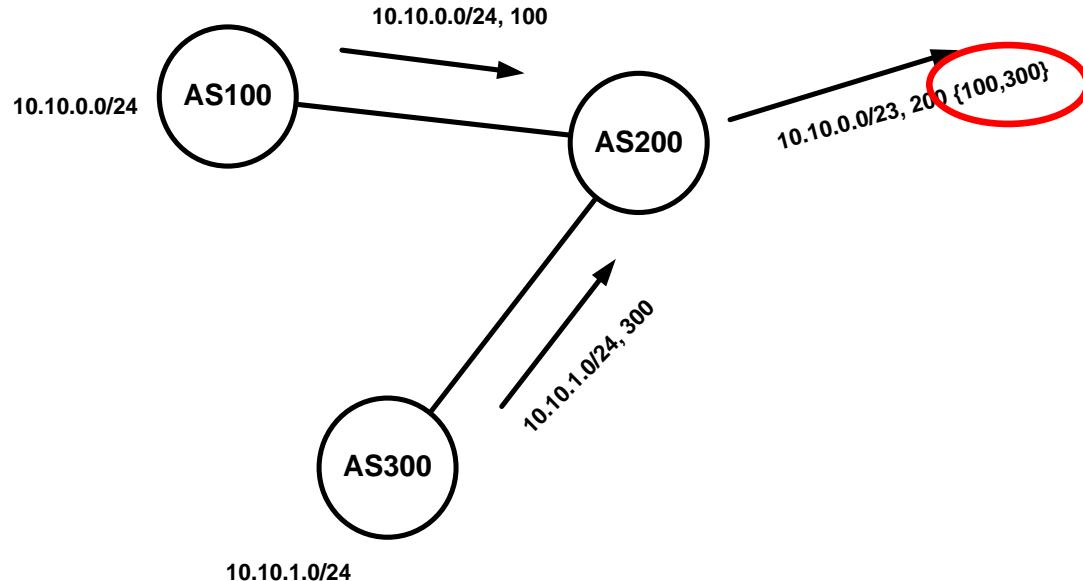
# Aggregator atribut

- Dobro poznat neobavezan atribut (WDA)
- Ovim atributom se označava onaj ruter koji izvršio aggregaciju ruta.
- Kao argument ovog atributa upisuje se **Router ID** rutera koji je izvršio aggregaciju



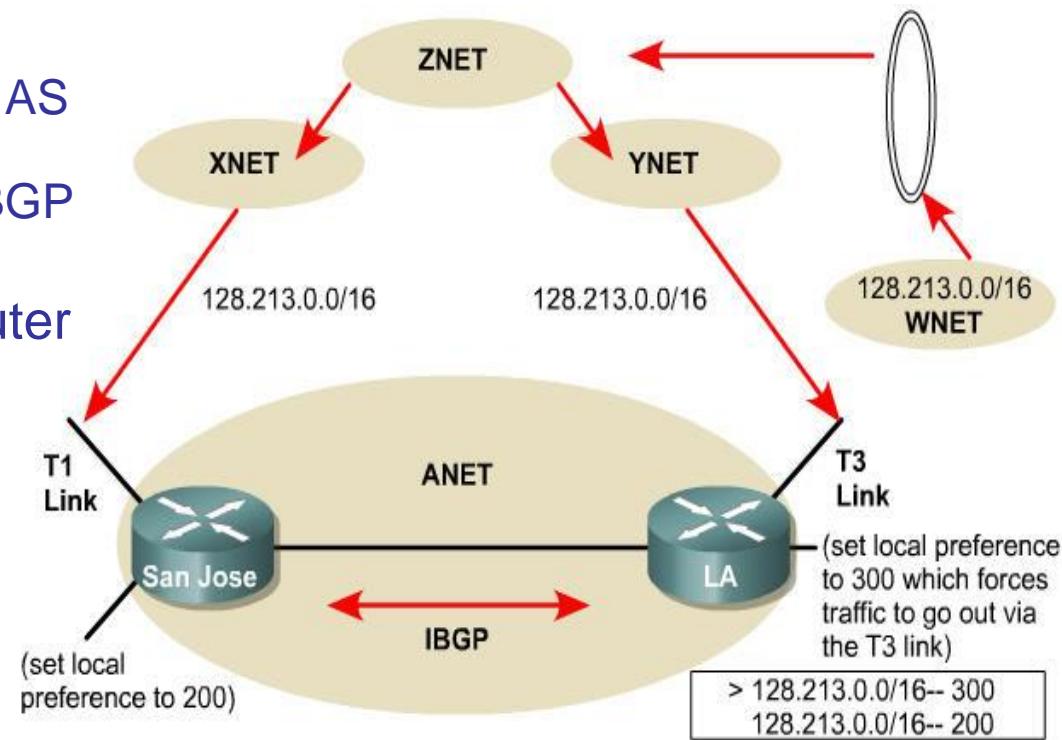
# AS-Set atribut

- Dobro poznat neobavezan atribut (WDA)
- Korišćenjem agregacije se smanjuje broj ruta u tabeli rutiranja, ali se gube neke informacije.
- **AS-Set - posebna vrsta AS-Path atributa**, kojim se zadržavaju informacije o agregiranim rutama.
- AS Set se sastoji od agregirane rute i elemenata koji je sačinjavaju (AS brojevi pre agregacije)
- Čuva informacije o AS brojevima radi sprečavanja petlji
- Nije dobro da se koristi kada se aggregira veliki broj ruta



# Local Preference Atribut

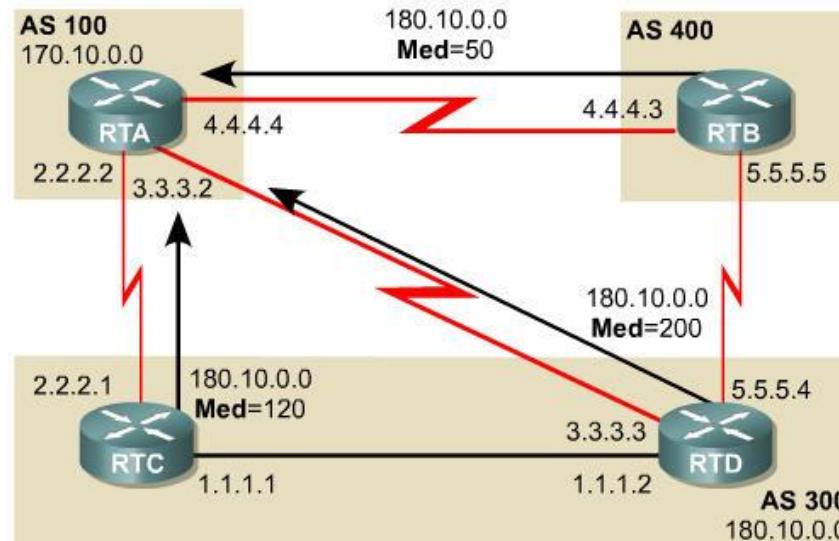
- Dobro poznat neobavezan atribut (WDA)
- Označava prioritet rute koja je ušla u AS
  - Utiče na saobraćaj koji će da **izlazi** iz datog AS!!!
- **Veća vrednost ima prednost** - u ruting tabelu se ubacuje ruta koja ima viši Local Preference
- **Lokalan za jedan AS**
  - Razmenjuje unutar jednog AS putem IBGP, ali se ne prenosi putem EBGP (nije tranzitivan)
- Dodeljuje ruti na ulasku u ruter
- Default vrednost je 100



# Multiple Exit Discriminator (MED)

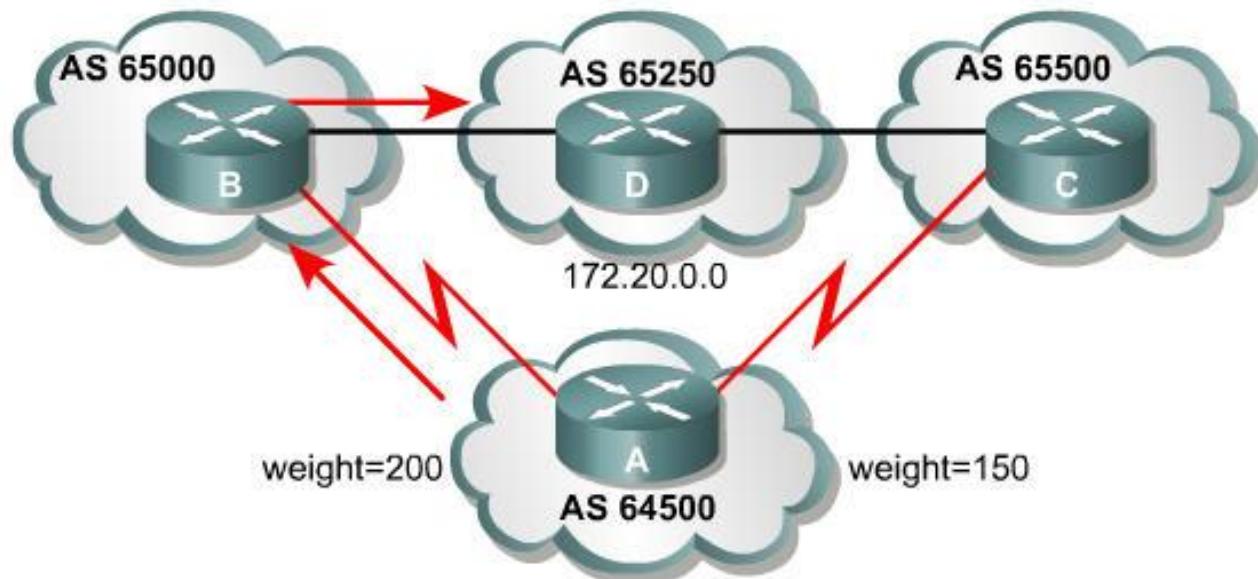
## Atribut

- Opcioni netranzitivni atribut (ONTA)
  - atribut koji uđe u AS ne napušta ga
- MED se dodeljuje rutama koje izlaze iz datog rutera
  - Kontroliše dolazni saobraćaj u AS
  - obaveštava susedne AS o željenoj putanji saobraćaja u dati AS ukoliko dati AS ima više veza sa drugim AS-om
- Namena je bila da se odslikava metrika IGP iz jednog AS i prenosi u drugi
- **Niža vrednost ima prednost** u odnosu na viši
- Jedan AS poredi MED vrednosti samo za prefikse dobijene iz jednog AS



# Weight Atribut

- Sličan *Local Preference* atributu
- Utiče na rute koje ulaze u AS, odnosno saobraćaj koji izlazi iz AS
- **Veća vrednost ima prednost** nad manjom
- Lokalan je za ruter i ne razmenjuje se sa drugim ruterima
- Nije po BGP standardu, ali ga pojedini proizvođači omogućavaju na svojim ruterima (Cisco)



# Proces izbora najbolje rute u BGP protokolu rutiranja

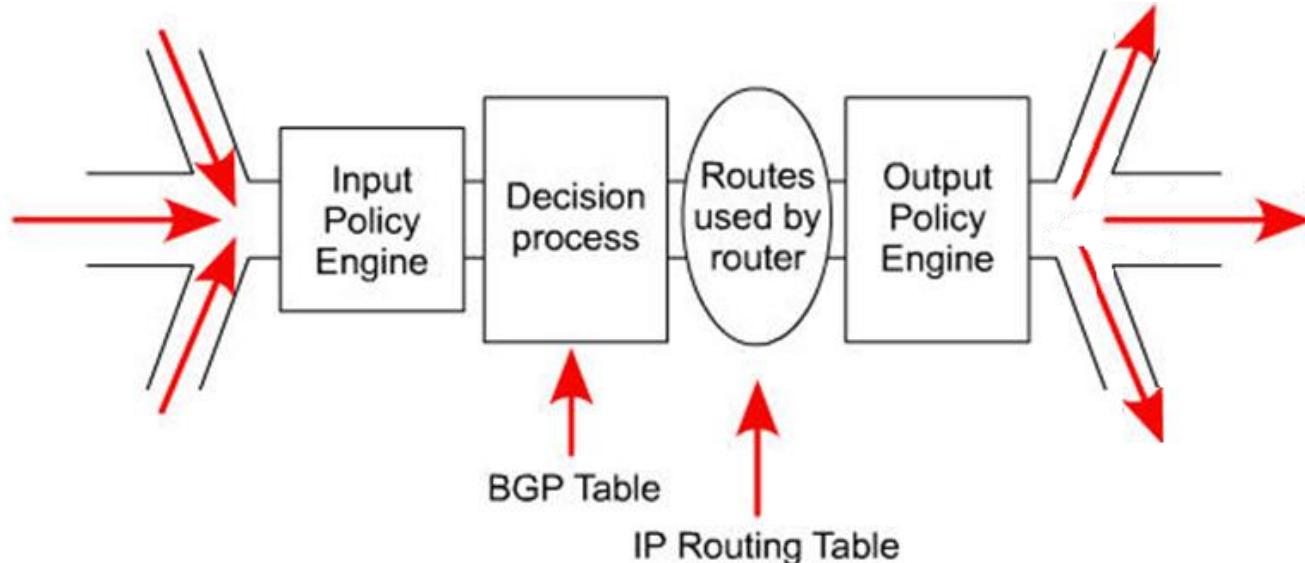
1. Ako Next Hop atribut za datu rutu ne postoji u ruting tabeli, ruta se ignoriše tj. ne ubacuje u ruting tabelu  
(sinhronizacija ruta)
2. Cisco: ako postoji Weight atribut, u ruting tabelu ulazi ruta sa **najvećom** Weight vrednošću
3. Bira se ruta sa **najvećom** vrednošću Local Preference
4. Bira se ruta sa **kraćim** AS-Path-om
5. Bira se ruta sa **nižom** vrednošću Origin atributa (**IGP < EGP < Incomplete**)
6. Bira se rutu sa **nižom** MED vrednošću
7. Prednost se daje rutama koje su dobijene preko eBGP u odnosu rute dobijene preko iBGP

# Proces izbora najbolje rute

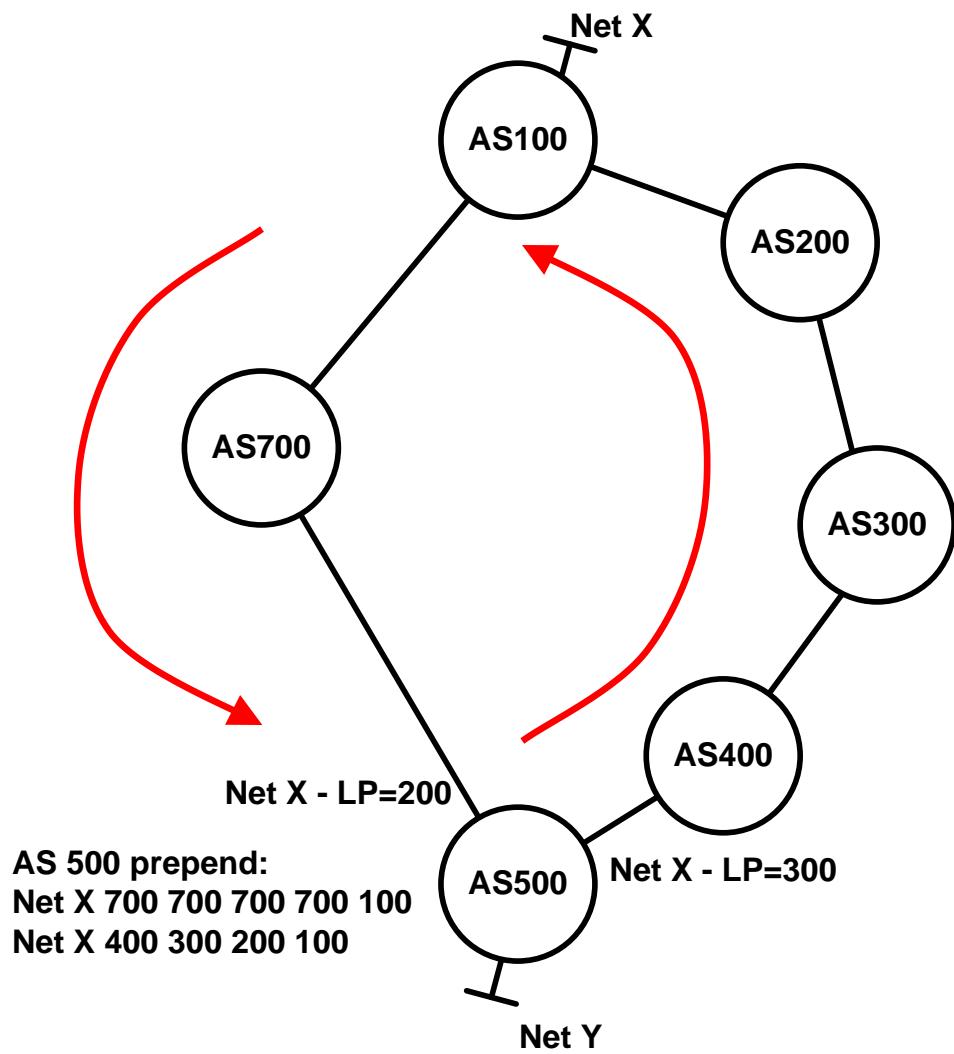
8. Bira se ruta čija je IGP metrika do BGP Next hopa niža
9. Bira se ruta koja je dobijena ranije (prva koja je stigla u ruter)
10. Bira se ruta dobijena od rutera sa nižim Router ID-em
11. Bira se putanja sa nižom vrednošću dužine klastera
12. Bira se ruta dobijena od suseda sa nižom adresom

## ZAKLJUČAK:

**Uvek će biti odabrana JEDNA najbolja ruta ka dатој мрежи**



# Primer



- Kojom putanjom će ići saobraćaj od NetY ka NetX?
- Kojom putanjom će ići saobraćaj od NetX ka NetY?

# Atribut Community (OTA)

- Služi za grupisanje mreža za koje se traži određeni način procesiranja od nekog nadređenog AS
- 4-bajtni parametar
- Neke predefinisane vrednosti
  - 0xFFFFFFF01 – No export – ne oglasiti eBGP susedima
  - 0xFFFFFFF02 – No advertise – ne oglasiti nikome
  - Uobičajen način predstavljanja: AS:COMMUNITY

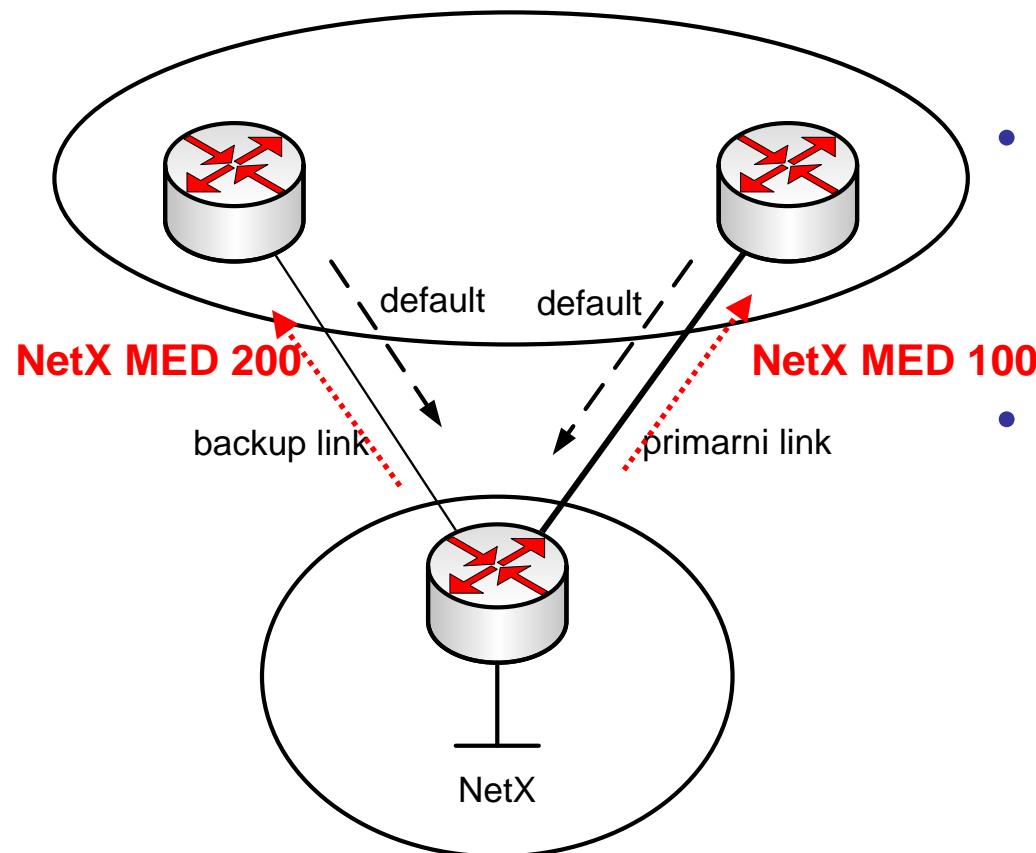
# Redundansa, simetrija i balansiranje saobraćaja

- Redundansa
  - Povećanje pouzdanosti kroz obezbeđivanje alternativnih putanja
  - Pošto je uslov za dobijanje AS veza ka dva druga AS, redundansa uvek postoji
- Simetričnost saobraćaja
  - ulazni i izlazni saobraćaj između neke dve lokacije putuju istim putem
  - Jednostavnije je garantovati servis koji ISP prodaju ako postoji simetričnost
  - Asimetričan saobraćaj – teži za otkrivanjem problema u rutiranju
- Balansiranje saobraćaja je podela saobraćaja preko više alternativnih putanja
  - Jako teško ostvarivo sa BGP protokolom u oba smera – izlaznom i ulaznom u AS

# Više veza ka jednom provajderu

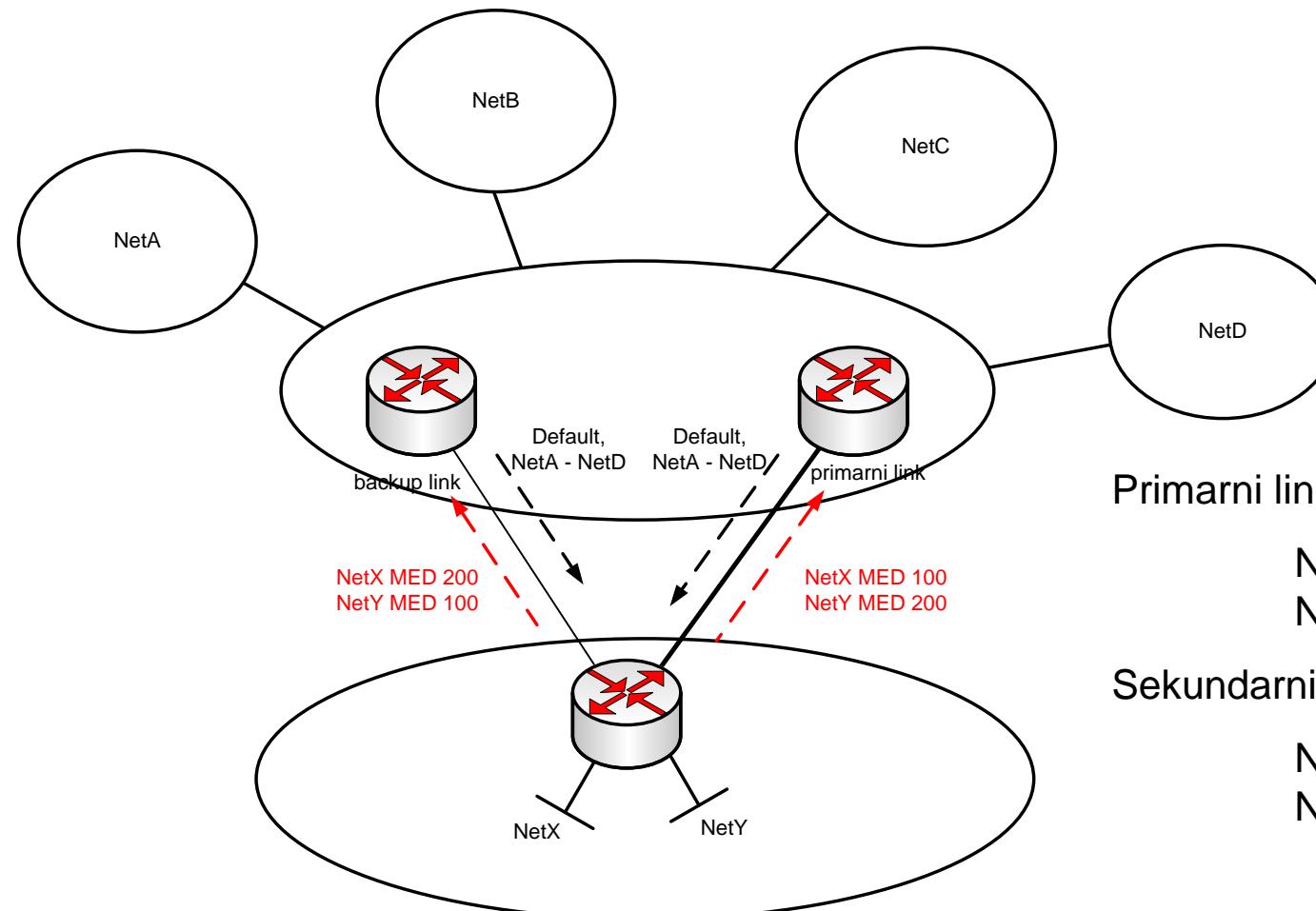
- Scenariji:
  - Default rute, primarni i backup link
  - Default rute, primarni i backup link i parcijalna ruting tabela
  - Default rute, primarni i backup link i puna ruting tabela

# Default rute, primarni i backup link



- Izlazni saobraćaj – prema jednoj od default ruta
- Ulazni saobraćaj – da bi se dobila simetrija
  - manji MED na primarnom linku
- Rezultat:
  - Sav saobraćaj ide preko primarnog linka
  - Sekundarni link se koristi samo u slučaju otkaza primarnog
  - Neoptimalno...

# Default rute, primarni i backup link i parcijalna ruting tabela



Primarni link:

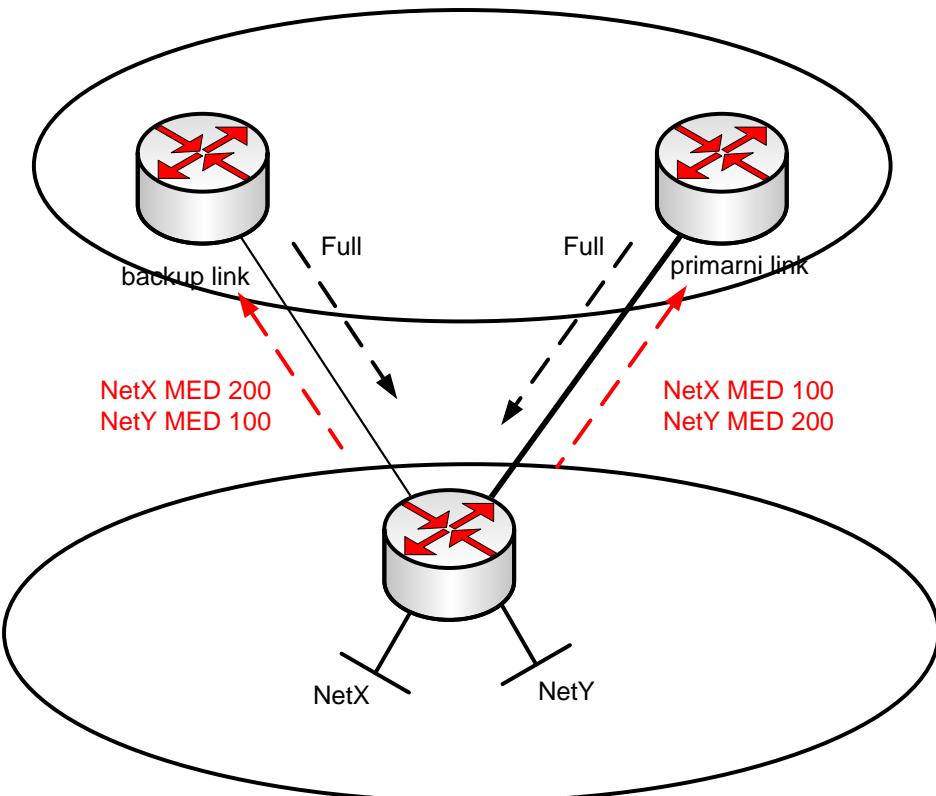
NetA, NetB – LP 100,  
NetC, NetD – LP 200

Sekundarni link:

NetA, NetB – LP 200,  
NetC, NetD – LP 100

Kako ide saobraćaj od NetX ka NetC i obrnuto?  
Kako ide saobraćaj od NetY ka NetC i obrnuto?

# Default rute, primarni i backup link i puna ruting tabela

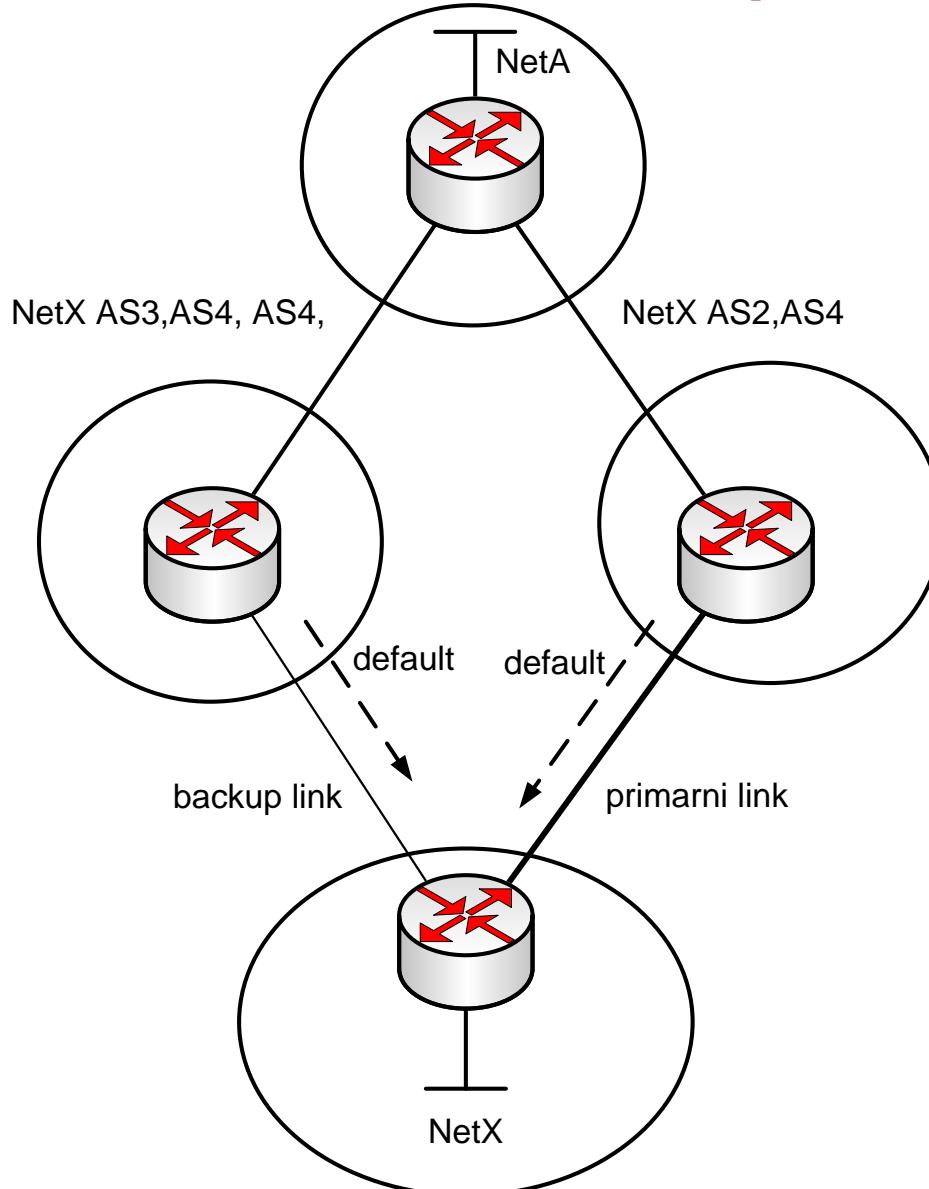


- Ako postoji primarni i backup link, sve rute sa primarnog mogu da dobiju veći LP
- Dolazni saobraćaj može da se balansira korišćenjem MED atributa
- Kako balansirati odlazni saobraćaj?

# Više veza ka više provajdera

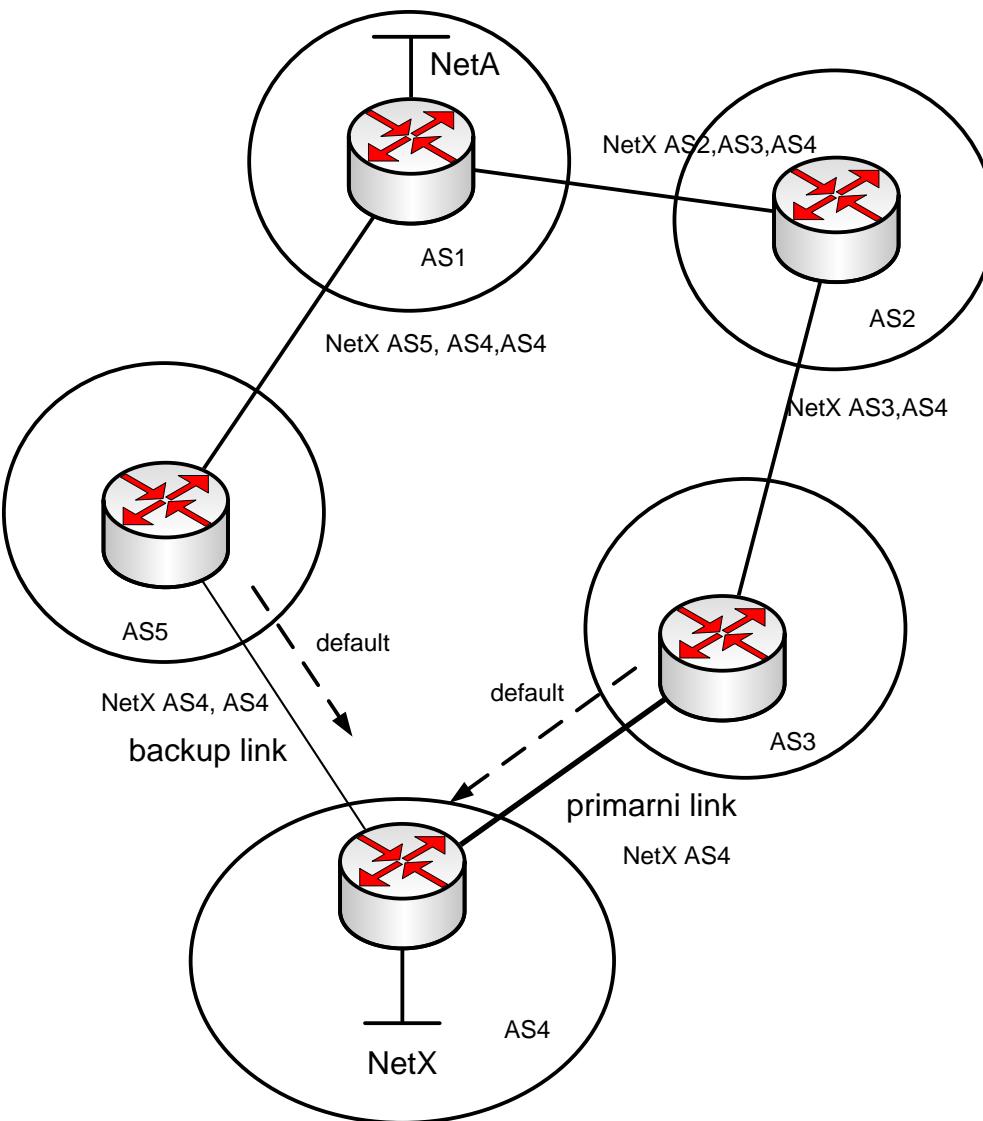
- Scenariji
  - Default rute, primarni i backup link
  - Default rute, primarni i backup link i parcijalna ruting tabela
  - Default rute, primarni i backup link i puna ruting tabela

# Default rute, primarni i backup link



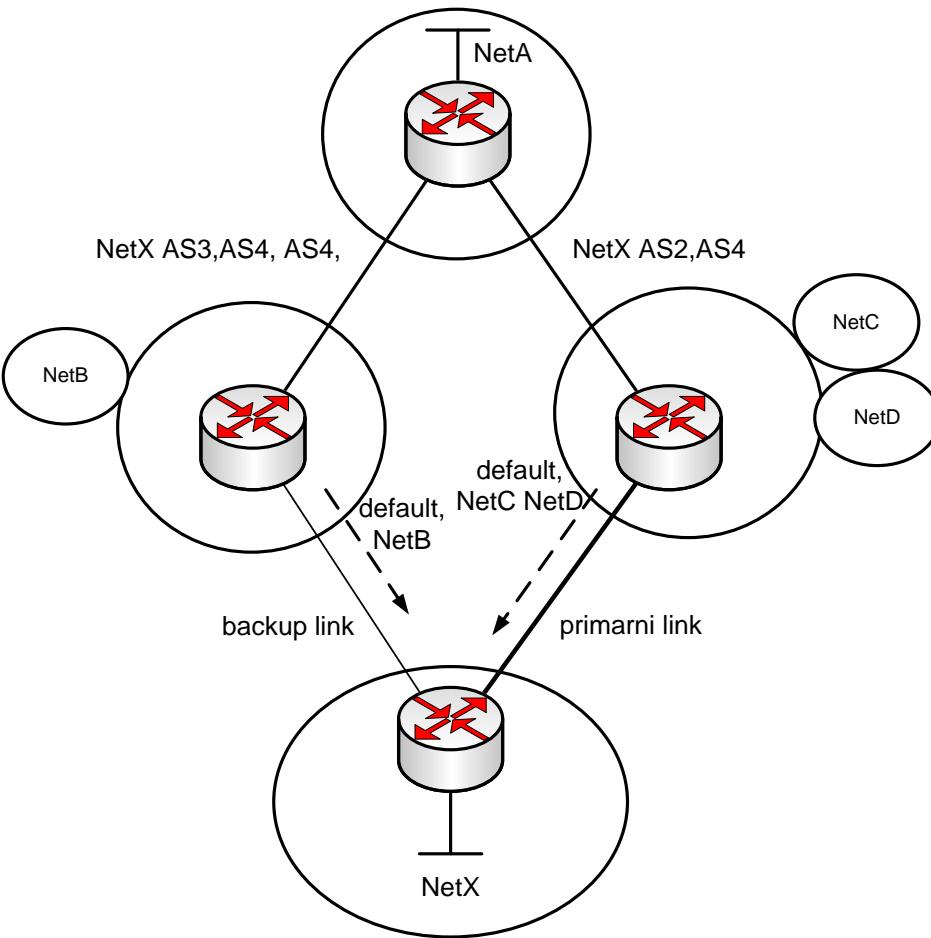
- Odlazni saobraćaj – prema jednoj od default ruta (primarna)
- Neoptimalno rutiranje prema levom AS
- Dolazni saobraćaj ne može da se reguliše pomoću MED (jer je nije tranzitivan)
- Prepend AS na backup linku
  - postavalja se *AS prepend* pri oglašavanju naših mreža ruta susedima
- Ekonomski neoptimalno, jer se od ISP zakupljuje backup veza ka Internetu, koja se koristi samo u slučaju kada otkaže primarni link

# Poznavanje topologije



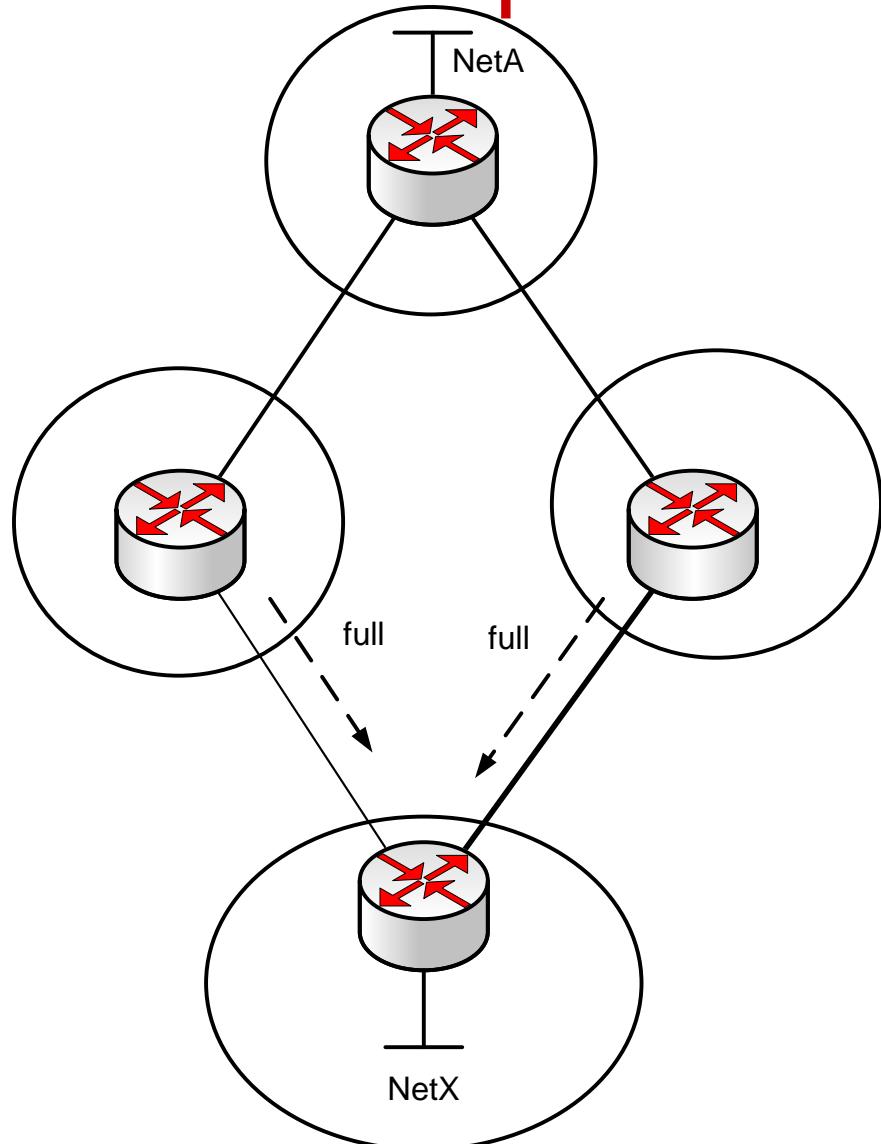
- Kuda će ići saobraćaj od NetA ka NetX?
- U ovakvim situacijama može da se koristi Community, ukoliko ga podržavaju udaljeni provajderi
- Teško je uticati na raspodelu dolaznog saobraćaja
  - postavalja se *AS prepend* pri oglašavanju naših mreža ruta susedima

# Default rute, primarni i backup link i parcijalna ruting tabela



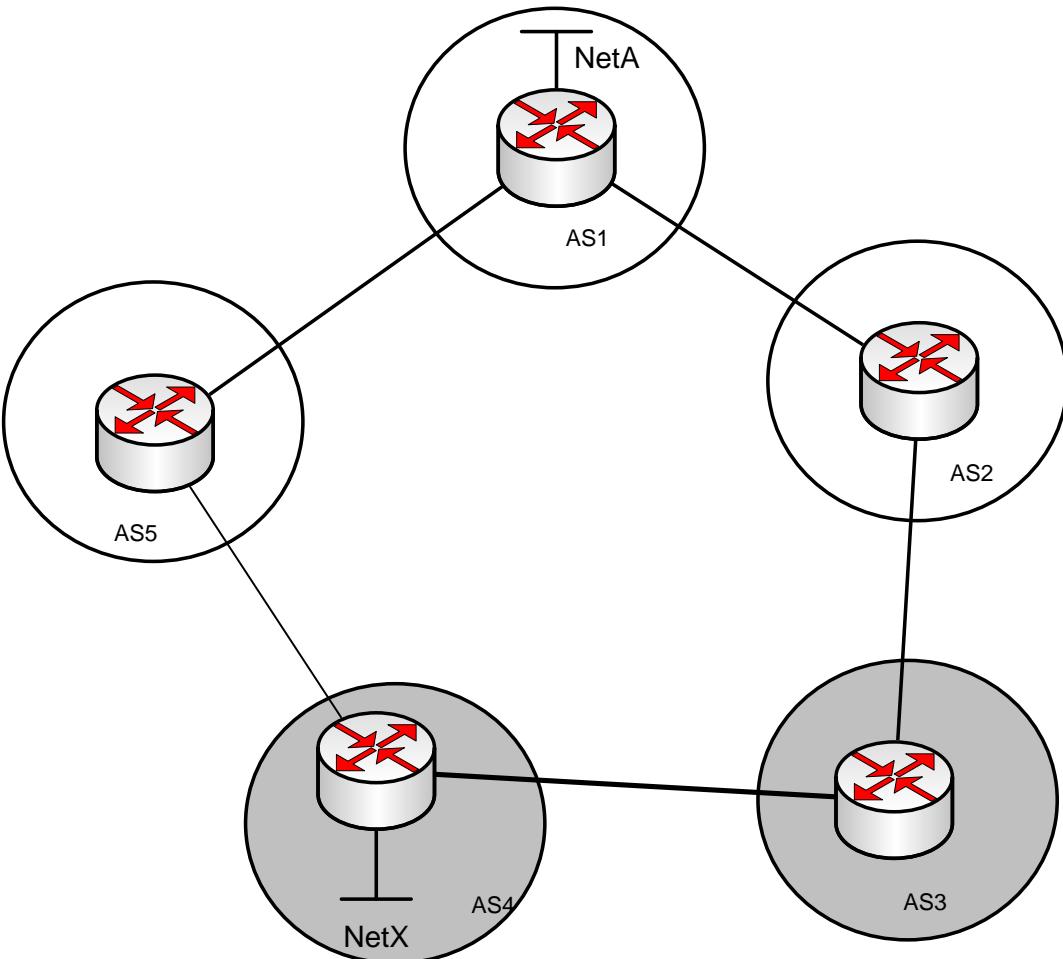
- Saobraćaj ka mrežama NetB, C i D će biti određen kraćim AS\_path
- Rešen problem neoptimalnosti rutiranja ka susednim AS
- Ostalo, kao u prethodnom primeru -većina saobraćaja preko primarnog linka
- Odnos dolaznog saobraćaja preko linkova zavisi od povezanosti ISP AS i broja prepend AS

# Default rute, primarni i backup link i puna ruting tabela



- Odnos odlaznih saobraćaja zavisi od povezanosti ISP AS
- Load balancing odlaznog saobraćaja moguć kada bi se delovima pune ruting table dodeljivali različiti LP ili AS\_path
- Dolazni saobraćaj se može regulisati preko prependa pri oglašavanju naših mreža
  - stepen balansiranja zavisi od topologije povezanosti drugih provajdera

# Dve mreže koje pružaju jedna drugoj backup



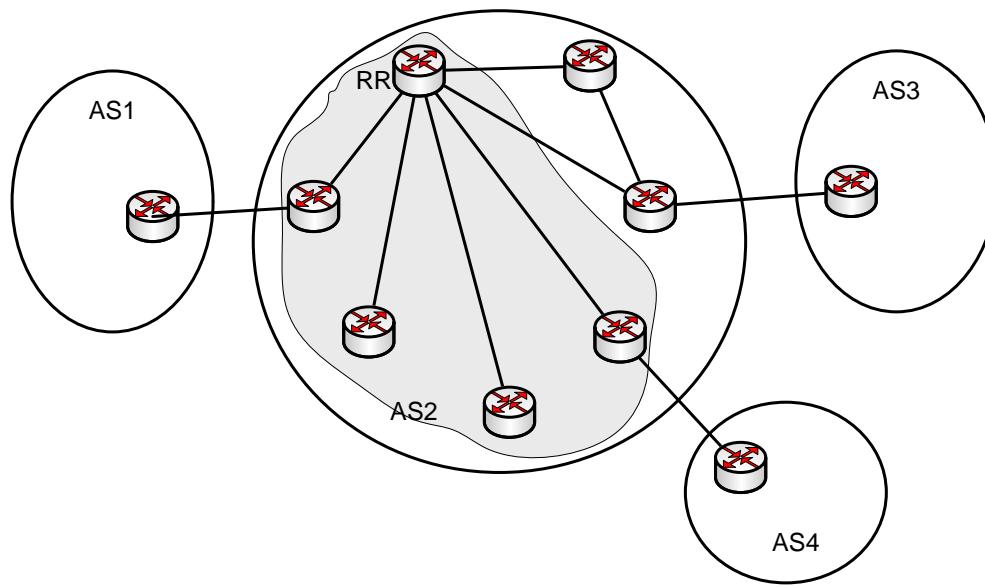
- Backup link između korisnika treba da prenosi saobraćaj samo u situaciji kada padne jedan od linkova ka provajderima
- LP na ruterima na osnovu AS ili community vrednosti
- AS Path manipulacije

# iBGP – problem skalabilnosti

- iBGP ne prosleđuje drugim iBGP ruterima rute dobijene putem iBGP
- Mora da postoji potpun graf iBGP odnosa unutar AS da bi se omogućio ispravno rutiranje unutar AS
- Ukupan broj iBGP odnosa  $\sim n^2$
- U velikim AS to može da predstavlja problem

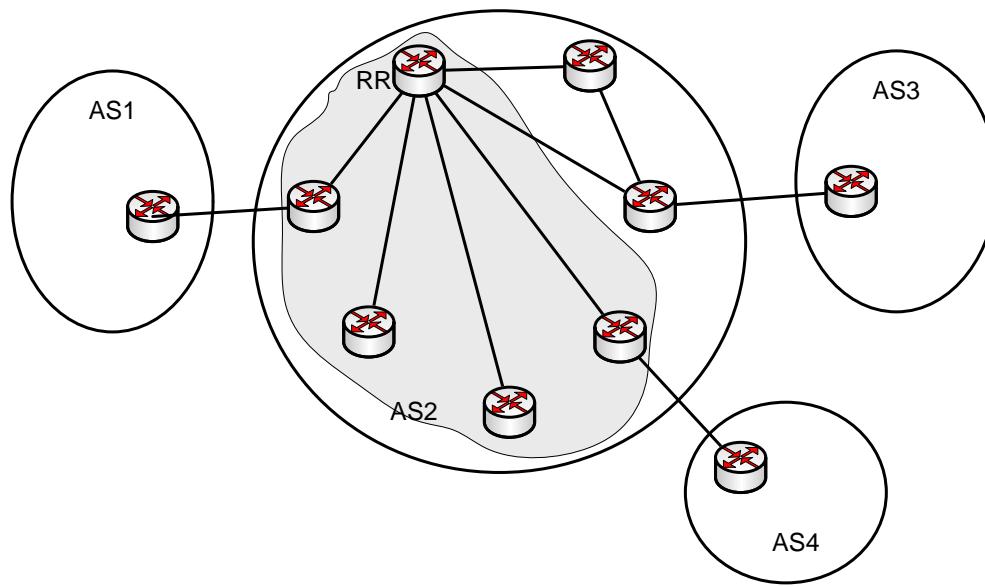
# Route reflector

- Rešenje za veliki broj iBGP sesija je “*route reflector*”
- Route reflector je ruter koji krši pravilo ponašanja iBGP ruteru – on može da prosledi iBGP rute drugim iBGP susedima
- iBGP ruteri koji koriste usluge route reflectora su klijenti.
- RR i njegovi klijenti čine klaster.
- Kada jedan klijent pošalje UPDATE poruku nekom route reflectoru, RR prosleđuje tu poruku drugim njegovim klijentima



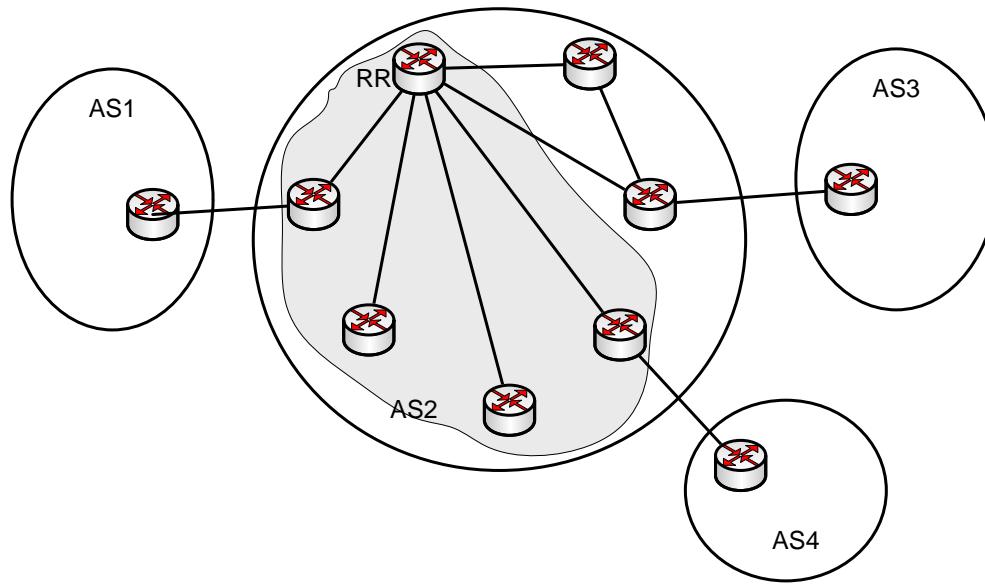
# Route reflector

- Ne moraju svi ruteri u nekom AS da budu ili RR ili klijenti. Neki mogu da budu “obični” ruteri koji iBGP koriste na klasičan način
- RR prosleđuje iBGP rute samo svojim klijentima i iBGP/eBGP susedima.
- Bilo koji ruter u AS može da bude RR. Izbor zavisi od administratora i performansi rutera



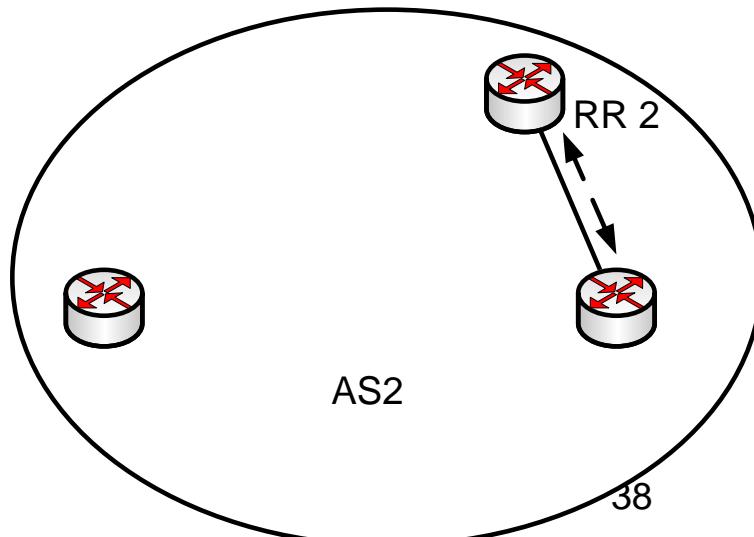
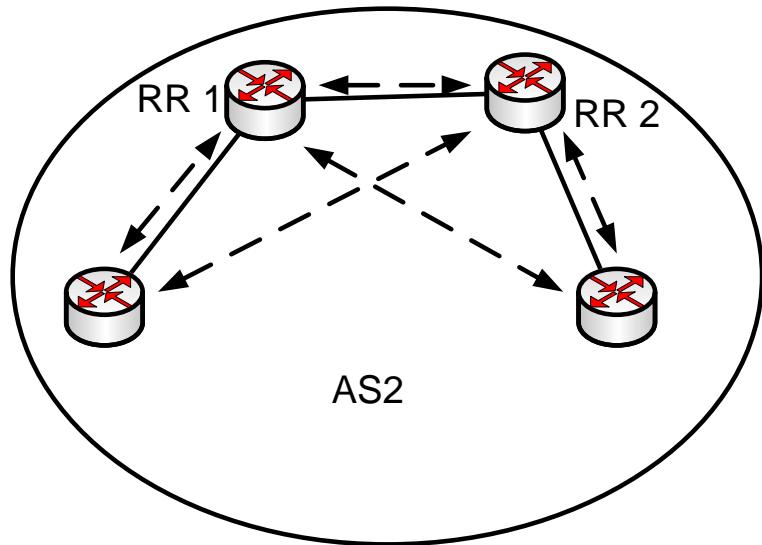
# Pravila prosleđivanja ruta kod RR

- Ako je ruta dobijena od iBGP suseda koji nije klijent datog RR, RR će reflektovati datu rutu samo klijentima
- Ako je ruta dobijena od klijenta, RR će je reflektovati svim ostalim klijentima i svim susedima koji nisu klijenti
- Ako je ruta dobijena od eBGP suseda, reflektuje se svim klijentima i svim susedima koji nisu klijenti



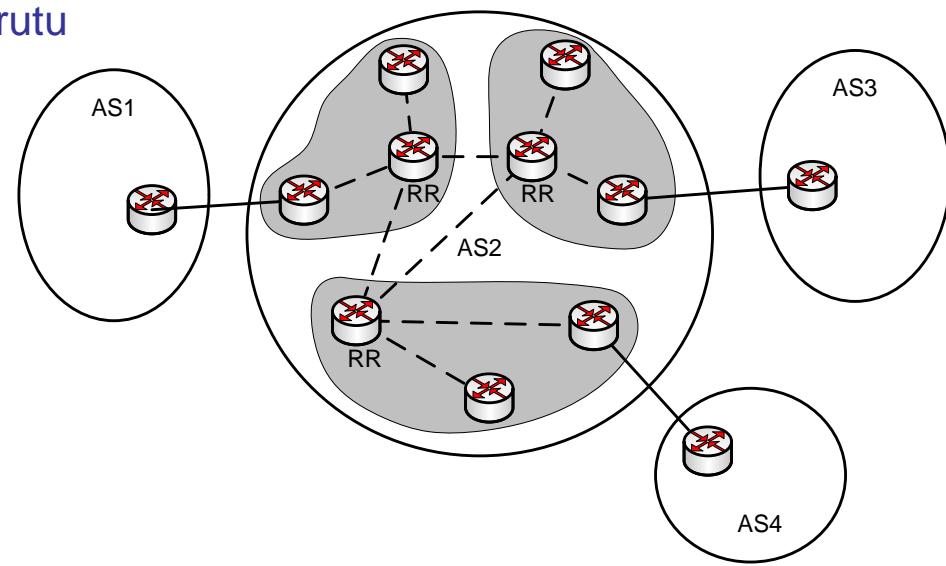
# Redundansa i RR

- Otkazom RR i nedostatkom potpunog grafa iBGP sesija rutiranje u AS više ne bi bilo regularno
- Moguće je da postoji dva RR u nekom klasteru čime se povećava pouzdanost mreže
- Izbor RR nije vezan od fizičke topologije u mreži



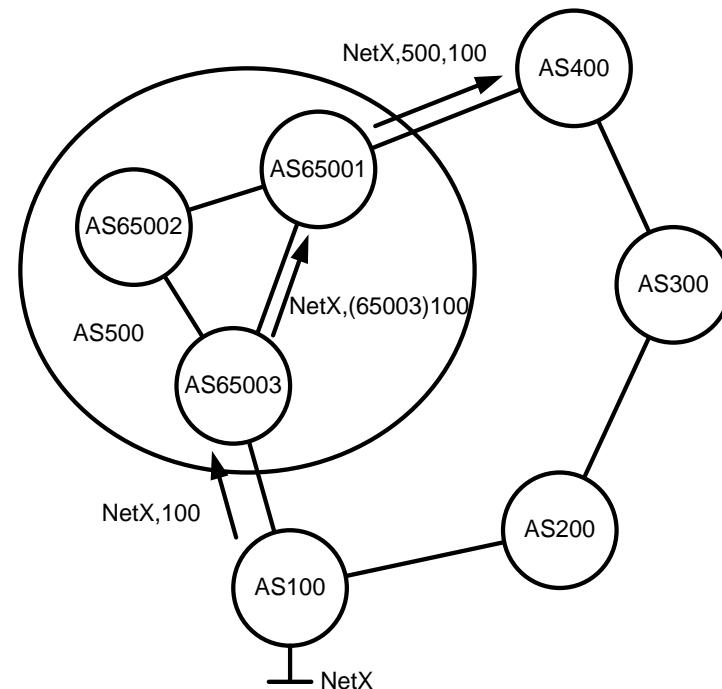
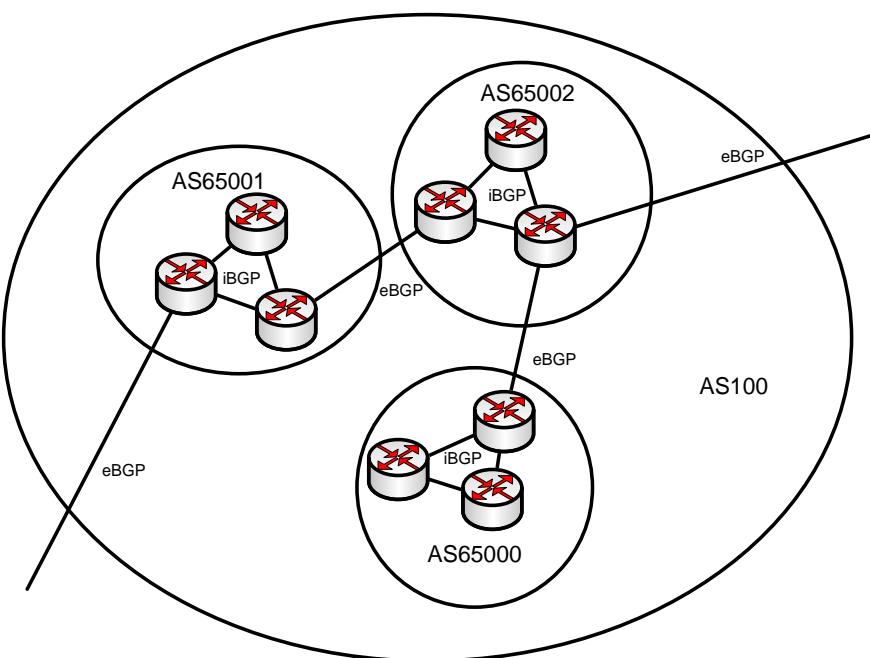
# Hijerarhijska organizacija mreže

- RR se ponaša po svim ostalim pravilima ponašanja za iBGP rutere (ne menja Next hop,...)
- RR šalje samo najbolju rutu koju je odredio njegov BGP proces. Ovo dodatno umanjuje zauzeće memorije na ruterima klijentima u poređenju sa potpunim iBGP grafom
- Problem - mogućnost stvaranje petlji unutar AS:
  - postoji mogućnost da se ruta koja je poslata iz nekog klastera vrati u dati klaster (ne postoji mogućnost provere AS\_PATH unutar jednog AS)
- Zbog toga su uvedeni novi atributi: ORIGINATOR\_ID i CLUSTER\_LIST
- ORIGINATOR\_ID
  - Router ID onog ruteru koji je poslao rutu
- CLUSTER\_LIST
  - niz identifikacija klastera unutar jednog AS kroz koje je prošla data ruta



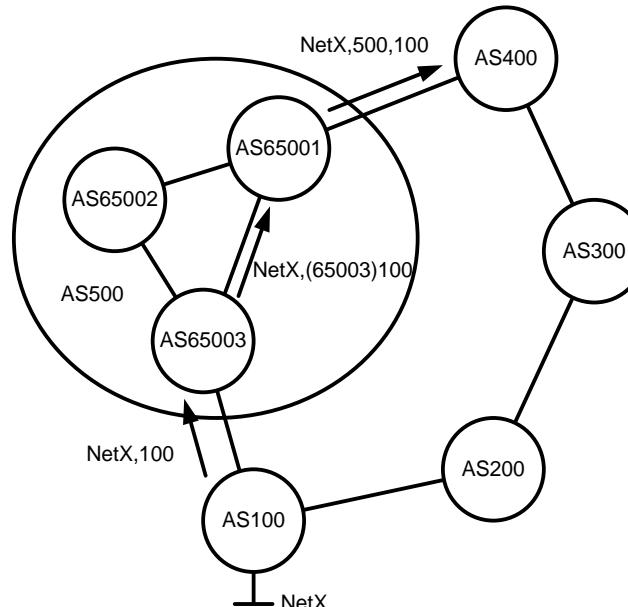
# Konfederacije

- Drugi način za rešavanje problema velikog broja iBGP sesija
- Unutar jednog AS se formira više privatnih pod-AS koji su u konfederaciji (za spoljašnje AS se pojavljuju kao jedinstven AS)
- Pod-AS međusobno komuniciraju putem eBGP, ali je prenos atributa isti kao da je u pitanju iBGP
  - MED i Local preference i drugi netrazitivni atributi se prenose između pod-AS
- Pod-AS dobijaju brojeve za AS iz privatnog skupa AS brojeva.



# Proces izbora najbolje rute sa konfederacijama

- Bez konfederacija BGP u 8. kriterijumu izbora ruta bira eBGP ruta ispred iBGP ruta
- Sa konfederacijama BGP odlučuje na sledeći način:
  - Ukoliko postoji ruta ka nekoj mreži dobijena iz susednog pod-AS i ruta dobijena od eksternog AS, BGP će odabratи putanju ka eksternom AS, iako su obe eBGP
  - Ukoliko postoji ruta ka nekoj mreži dobijena od iBGP (unutar pod-AS) i ruta dobijena od susednog pod-AS (eBGP unutar konfederacije), odabiraće se ona ruta koja vodi van datog pod-AS (eBGP ruta unutar konfederacije ili eBGP od drugog AS-a)

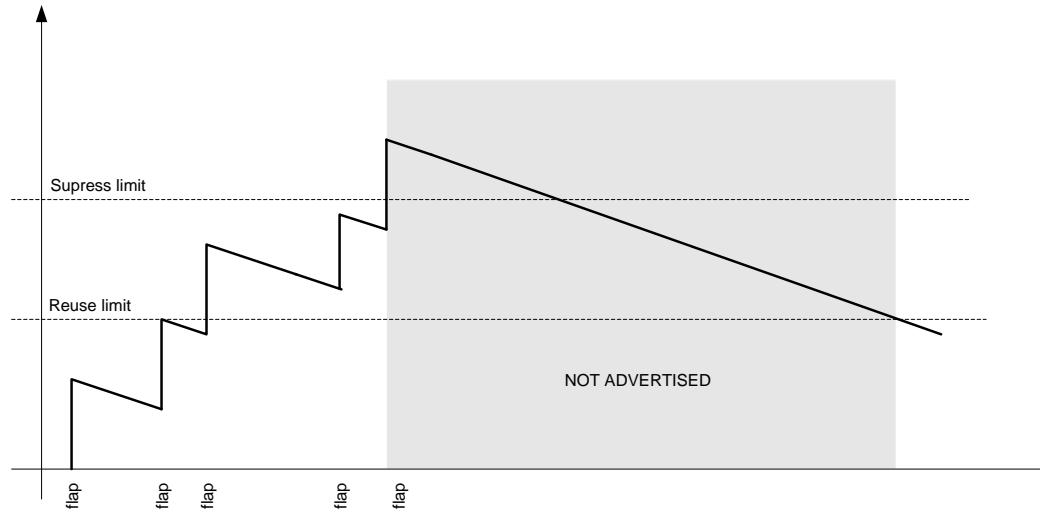


# Očuvanje stabilnosti Interneta

- Česte promene ruta koje oglašava neki BGP speaker se propagiraju po celom Internetu.  
(Update/Withdraw)
- To pravi nepotreban saobraćaj na mreži i opterećuje procesore rutera
- Da bi se Internet zaštitio postoji mehanizam “route flap damping”

# Route flap damping – RFC 2439

- Česte promene ruta se propagiraju po celom Internetu, što pravi nepotreban saobraćaj i opterećuje procesore rutera na Internetu
- “Route Flap Damping” – zaštita od česti promena
  - Ruter svakoj ruti dodeljuje Penalty vrednost koja je inicijalno 0
  - Kada se desi promena (route flap) date rute Penalty se povećava za određenu vrednost
  - Kada nema promena, Penalty se smanjuje, tako da se za definisano vreme *half-life* se smanji na polovinu početne vrednosti
  - Kada Penalty pređe *SUPPRESS-limit*, data ruta se više ne oglašava
  - Kada Penalty padne ispod *REUSE-limit*, data ruta se ponovo oglašava



# Multiprotokolarne ekstenzije BGP protokola – RFC 2858

- Originalni BGPv4 je protokol je mogao da razmenjuje samo IPv4 rute
- Drugi protokoli (IPX, IPv6,...) nisu mogli da komuniciraju koristeći globalnu Internet mrežu
- RFC 2283, RFC 2858 – ekstenzije BGP protokola koje će da omoguće prenos ruta različitih protokola mrežnog sloja
- Atributi i argumenti koji su striktno vezani za IPv4:
  - Next\_hop (značajan samo za nove rute, a ne i za rute koje se brišu)
  - NLRI
  - Aggregator
- Novi atributi:
  - Multiprotocol\_Reachable\_NLRI (MP\_REACH\_NLRI)
  - Multiprotocol\_Unreachable\_NLRI (MP\_UNREACH\_NLRI)

# Kontrola ruta koje se dobijaju preko Interneta

- Rute koje se oglašavaju putem BGP moraju da se pretoga unesu u bazu RIR u formi route-object-a
- ISP jednom dnevno proveravaju route-object bazu i u skladu sa njom formiraju filtre za dolazeće rute

**route:** 147.91.0.0/16

descr: UNIVERSITY OF BELGRADE

origin: [AS13092](#)

mnt-by: [UB-MNT](#)

source: RIPE # Filtered

**route6:** 2001:4170::/32

descr: UNIVERSITY OF BELGRADE

origin: [AS13092](#)

mnt-by: [UB-MNT](#)

source: RIPE # Filtered

# Pomoćni alati - Looking glass

- Looking glass - <http://traceroute.org/#Looking%20Glass>
  - <http://bgp.he.net/>
  - <http://integra.net/lg/>
  - <http://lg.telekom.rs>
  - <http://lg.eastlink.ca/>
  - <http://lg.enta.net/>
  - <http://lg.df.ru/>
  - <http://merry.netsys.more.net/lg/index.cgi>
  - <http://lg.lan.switch.ch/lg/lg.cgi>
  - <http://lg.gin.ru/lg/>
  - [https://www.pch.net/tools/looking\\_glass](https://www.pch.net/tools/looking_glass)

The screenshot shows the 'BT Global Services: Looking Glass' page. At the top, there's a navigation bar with links to Home, Tools, Network Information, Looking Glass, and IP Performance. Below the navigation is a section titled 'Please choose a tool from the list below:' containing several radio buttons for different network operations: Ping, Traceroute; Nslookup, Dig; IP Route, BGP Summary; BGP Dampened-Paths, BGP Flap-Statistics; BGP Network (which is selected), BGP AS path regexp; BGP AS path quote-regexp, and BGP Neighbours. There are also 'SUBMIT' and 'RESET' buttons.

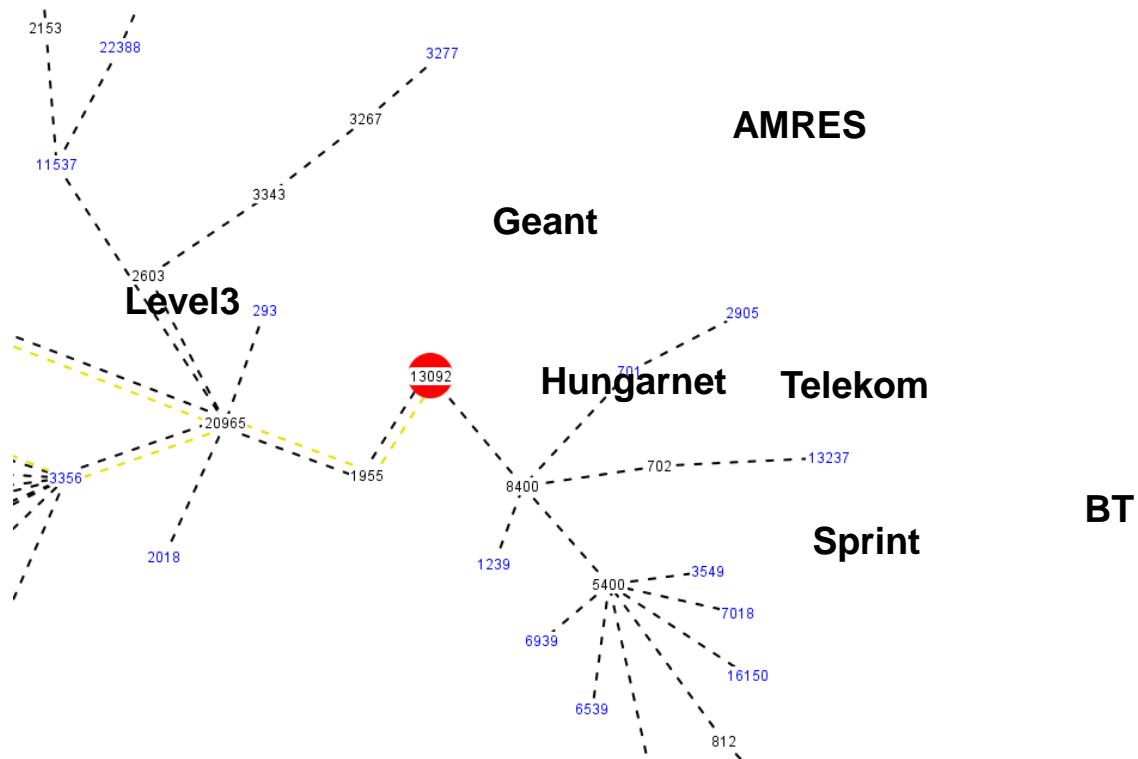
The screenshot shows the same 'BT Global Services: Looking Glass' page, but with a query set to 'BGP Network'. The results show a single entry for the address 147.91.0.0. The output is as follows:

```
BGP routing table entry for 147.91.0.0/17, version 27825410
Packs: (2 available, best #2)
Multipath: eBGP
Advertised to update-groups:
  1
8400 8400 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092
  166.49.166.73 (metric 156) from 166.49.166.32 (166.49.166.32)
    Origin IGP, metric 0, localpref 190, valid, internal
    Community: 5400:49
  Originator: 166.49.166.73, Cluster list: 166.49.166.32, 166.49.166.64
8400 8400 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092
  166.49.166.73 (metric 156) from 166.49.166.65 (166.49.166.65)
    Origin IGP, metric 0, localpref 190, valid, internal, best
    Community: 5400:49
  Originator: 166.49.166.73, Cluster list: 166.49.166.65
```

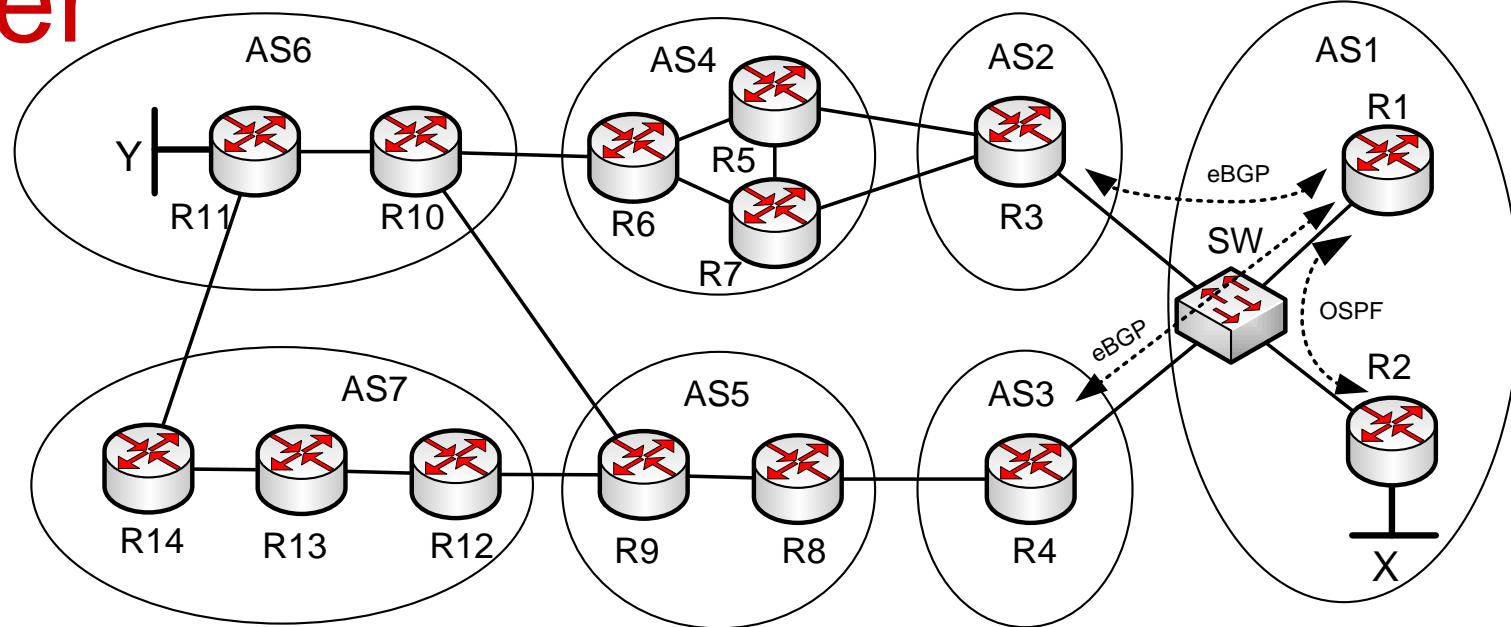
At the bottom left, it says '© 2006 British Telecommunications plc'.

# Pomoći alati - BGPlay

- Praćenje AS topologije tokom vremena



# Primer



- Na ruteru R2 je postavljena default ruta koja pokazuje na ruter R1.
- Ruter R4 kada oglašava svoje rute ruteru R1 dodaje u AS-Path jednu dodatnu oznaku AS3 (AS prepending).
- Na ruteru R3 je pridružen MED parametar za rute koje se oglašavaju ka R5 na 100, a za rute koje se oglašavaju ka R7 na 200
- Na ruteru R3 je podešeno da sve rute koje dolaze od R5 imaju Local Preference 100, a sve rute koje dolaze od R7 imaju Local Preference 200.
- Na ruteru R10 je podešeno da sve rute koje dolaze od R6 imaju Local Preference 70, sve rute koje dolaze od rутera R9 imaju Local Preference 50,
- Na ruteru R11 je podešeno da sve rute dobijene od R14 imaju Local Preference 100.

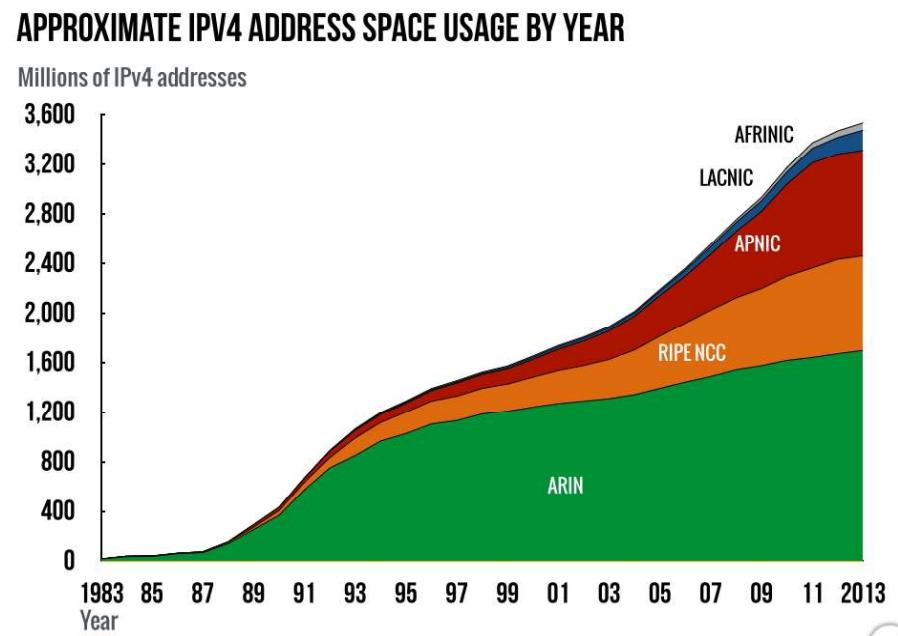
# Literatura

- Sam Halabi  
“Internet routing Architectures”,  
Cisco press

# IPv4 – standardna verzija IP protokola

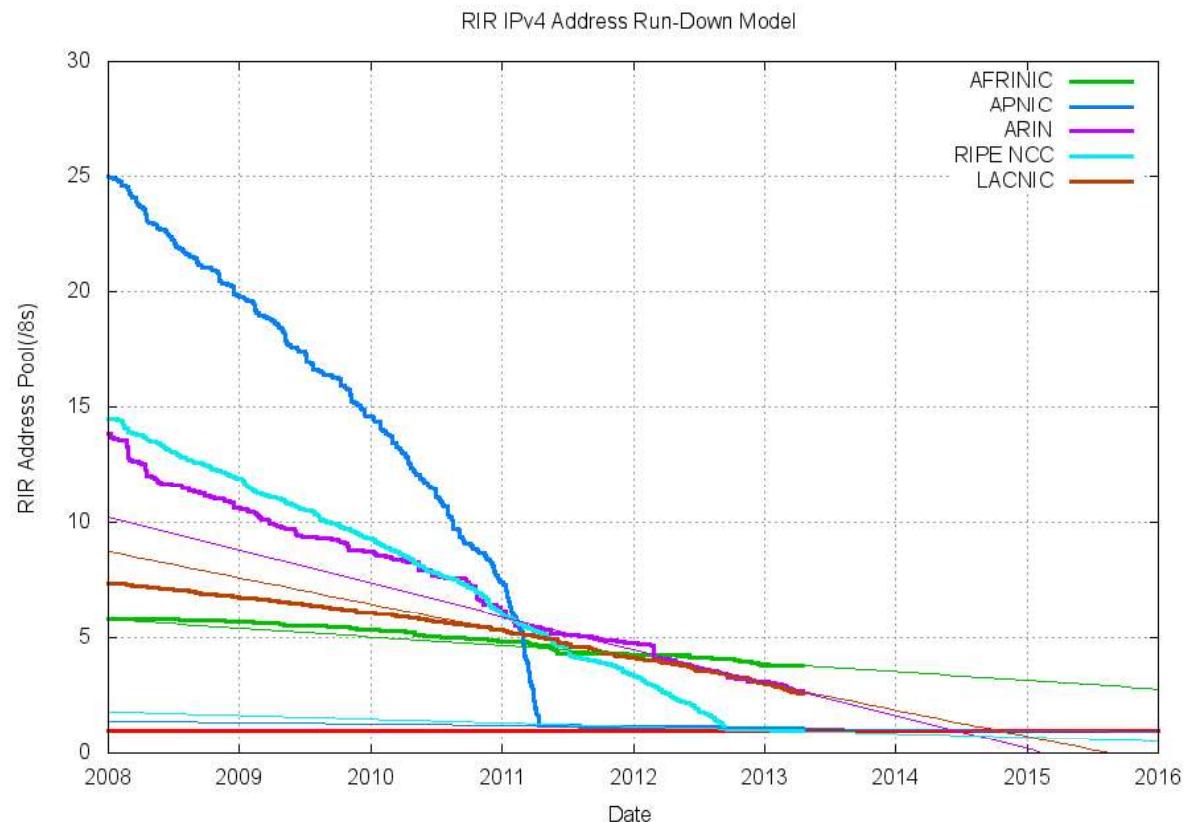
- IP verzija 4, u oznaci IPv4, RFC 791, Septembar 1981
- Problemi:
  - Eksponencijalni rast Interneta i povezanih uređaja
  - Nedostatak IPv4 adresnog prostora
  - Veliki broj mreža na Intenetu - velike tabele rutiranja
- Nove potrebe:
  - Bezbednost podataka na IP nivou
  - Ostvarivanje kvaliteta servisa (QoS - *Quality of Service*)

Izvor slike: arstechnica.com



# Nedostatak IPv4 adresnog prostora

- IPv4 adresni prostor je potrošen
- Nove IPv4 adrese se mogu kupiti samo od „preprodavaca“
- Privatne adrese i NAT donekle rešavaju problem
- Potrebne su nove adrese – novi IP protokol



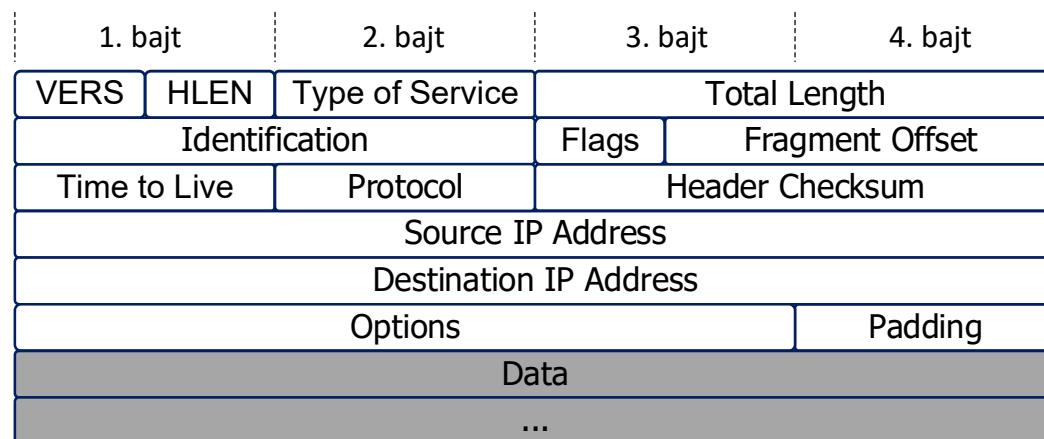
Izvor slike: arstechnica.com

# IPv6 – novija verzija IP protokola

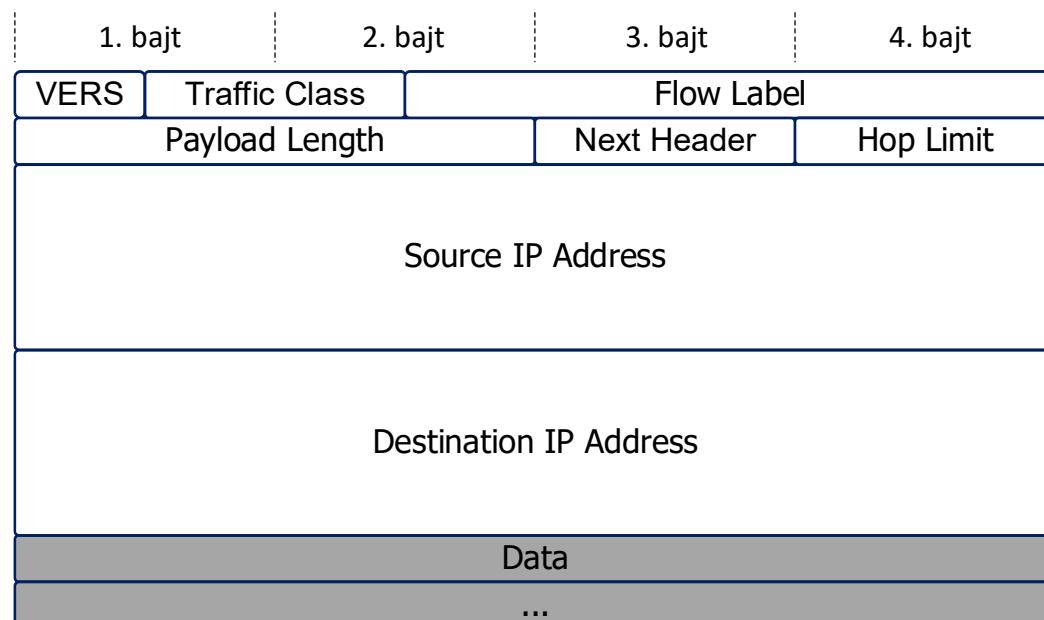
- „Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification“, RFC 1883, December 1995
- Različit protokol u odnosu na IPv4
  - L2 identifikacija
    - IPv4 – 0x0800
    - IPv6 – 0x86dd
- Osnovne karakteristike
  - Veći adresni prostor
  - Efikasnije rutiranje
    - Manji broj eksternih ruta na Internetu – hijerarhijska struktura mrežnih adresa omogućava efikasnije agragiranje
    - Jednostavnije zaglavlje za efikasniju obradu paketa
  - Podršku za automatsku konfiguraciju računara
  - Podršku za bezbednost podataka sa *IPSec* implementacijom
  - Poboljšana podrška za mobilne uređaje
  - Ugrađena podrška za alokaciju resursa i kvalitet servisa (QoS)
  - Povećan broj *multicast* adresa

# Format zaglavlja

- IPv4 zaglavlje



- IPv6 zaglavlje



# Izbačena polja

- **Internet Header Length**

- IPv4 sadrži opcije koje čine promenljivu veličinu zaglavlja
- IPv6 zaglavljje je fiksne veličine, jer su opcije izdvojene u posebna zaglavljja

- **Header Checksum**

- Provera integriteta paketa se sprovodi na L2 nivou
- TCP/UDP sadrži *Checksum* polje koje obuhvata iz i IP adrese iz IP zaglavlja (*pseudo-header*)

- **Options**

- Nedovoljno se koriste u IPv4
- U IPv6 uveden novi mehanizam fleksibilnog ugnježdavanja opcija u dodatnim zaglavljima

- **Polja za fragmentaciju**  
*(Identification, Flags, Fragment Offset)*

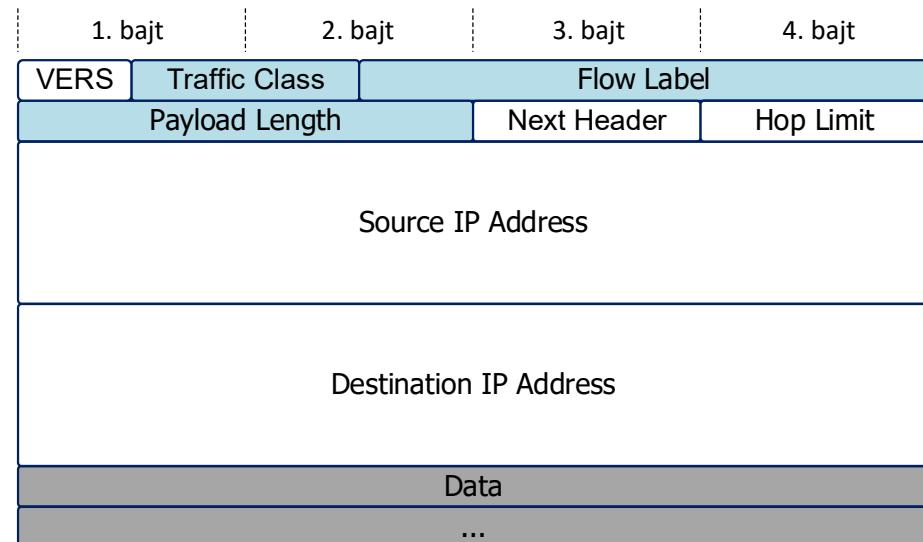
1. bajt	2. bajt	3. bajt	4. bajt
VERS	HLEN	Type of Service	Total Length
		Identification	Flags
Time to Live	Protocol		Fragment Offset
			Header Checksum
		Source IP Address	
		Destination IP Address	
	Options		Padding
	Data		
	...		

# Fragmentacija

- Fragmentacija je “neekonomičan” proces
  - Alocira resurse na strani primaoca
  - Uvodi tajmere i čekanje u slučaju gubitka bilo kog fragmenta
  - Gubitak fragmenta uzrokuje gubitak celog originalnog paketa
- Fragmentacija je neophodna, ali je treba ograničiti i minimizirati
  - **Fragmentacija se sprovodi na izvoru, a ne u ruterima**
- MTU – *Maximum Transmission Unit*
  - IPv6 garantuje MTU od najmanje 1280 bajtova
  - Izvor se koristi ili garantovani MTU ili radi *Path MTU Discovery*
  - U slučaju da ruter ne može da prosledi paket jer je veći od MTU na linku
    - Paket se uništava
    - Ruter generiše ICMPv6 poruku „*Packet Too Big*“
- *Path MTU Discovery* - pronalazi najmanji MTU na celom putu do odredišta
  - Šalje pakete određene veličine i prati da li je dobio „*Packet Too Big*“
- Problem
  - Rutiranje je dinamičko i putanja se može promeniti tokom komunikacije
  - Ovo se ipak retko dešava

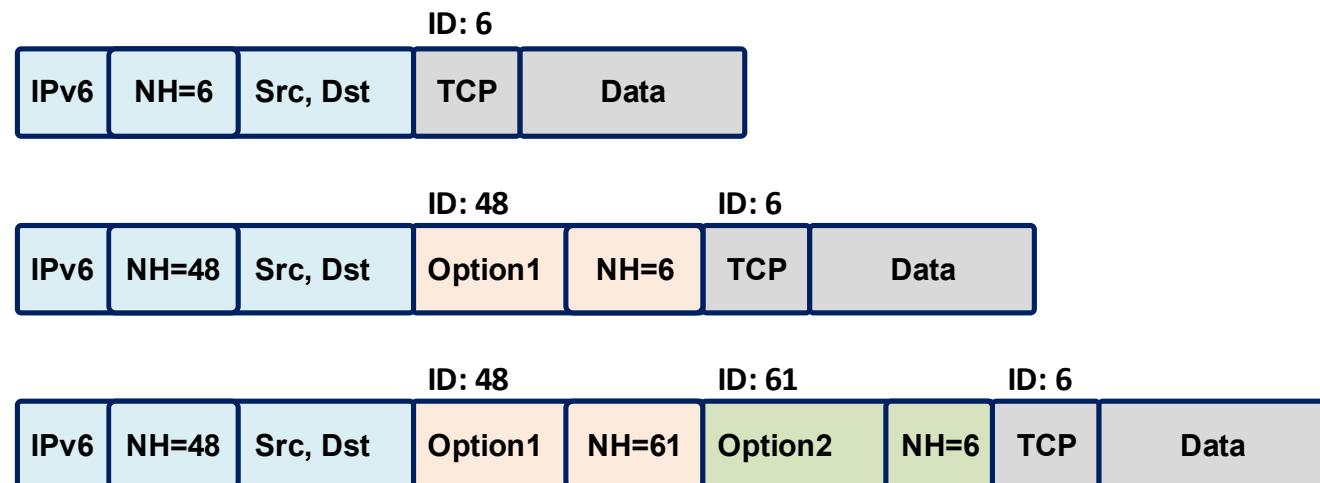
# IPv6 format zaglavlja

- **Traffic Class** (8 bita)
  - Isto kao ToS (*Type of Service*) polje kod IPv4
  - Izvořite generiše pakete koji pripadaju različitim klasama saobraćaja, sa različitim prioritetima
- **Flow Label** (20 bita)
  - Flow (tok) predstavlja komunikaciju između aplikacija izvorišta i odredišta
  - *Flow Label* jedinstveno označava svaki tok
  - Samo se prvi paket rutira, a *Flow Label* uparen sa izlaznim portom se kešira
  - Ubrzan proces rutiranja
    - Naredni paketi istog toka ne zahtevaju rutiranje
- **Payload Length** (16 bits)
  - Bužina podataka u bajtovima



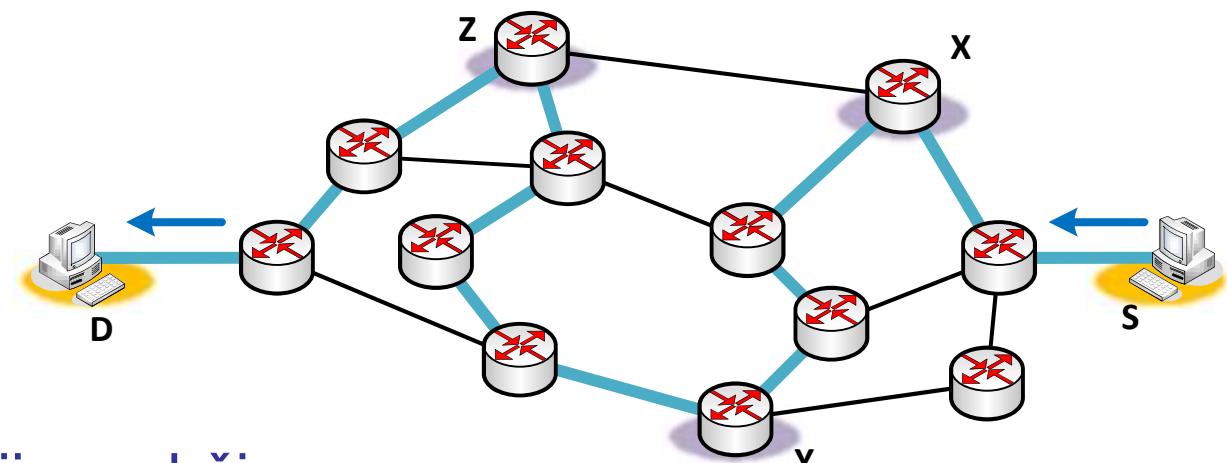
# IPv6 format zaglavlja

- Hop Limit (8 bits)
  - Ista funkcija kao kod IPv4 Time To Live (TTL)
- Next Header (8 bits)
  - Umesto polja „Protocol“ kod IPv4
  - Identifikuje “sledeće zaglavljе”
    - Zaglavljе višeg nivoa – TCP, UDP, ICMPv6, OSPFv3 itd.
    - Zaglavljе sa IPv6 opcijama
  - Na isti način se tretiraju IPv6 opcije i TCP/UDP zaglavljе (protokoli višeg nivoa)



# Ruting opcija

- Utiče na put paketa
    - Izvorište definiše sekvencu ratera, tzv. međutačaka (*Checkpoints*)
    - Usputni ruteri prosleđuju pakete prema navedenim međutačkama

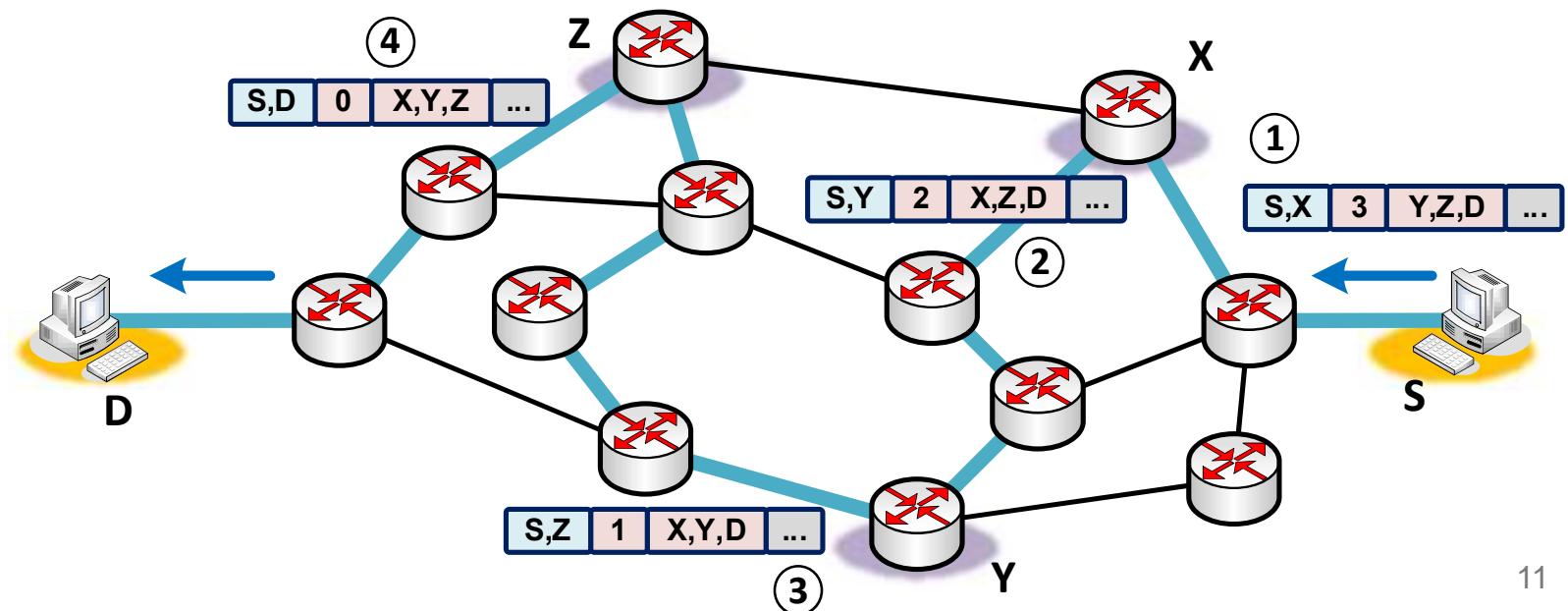


- Zaglavje ruting opcije sadrži:
    - Sekvencu adresa međutačaka (ne moraju da budu uzastopni ruteri)
    - Brojač (*Segment Left*) - koliko je još međutačaka preostalo

Routing Extension								
ID: 43			ID: 6					
IPv6	NH=43	Src, Dst	Seg. Left	Adr1, Adr2...	NH=6	TCP		Data
0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000	0x00	0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000	0x00	0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000	0x00	0x00		0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000

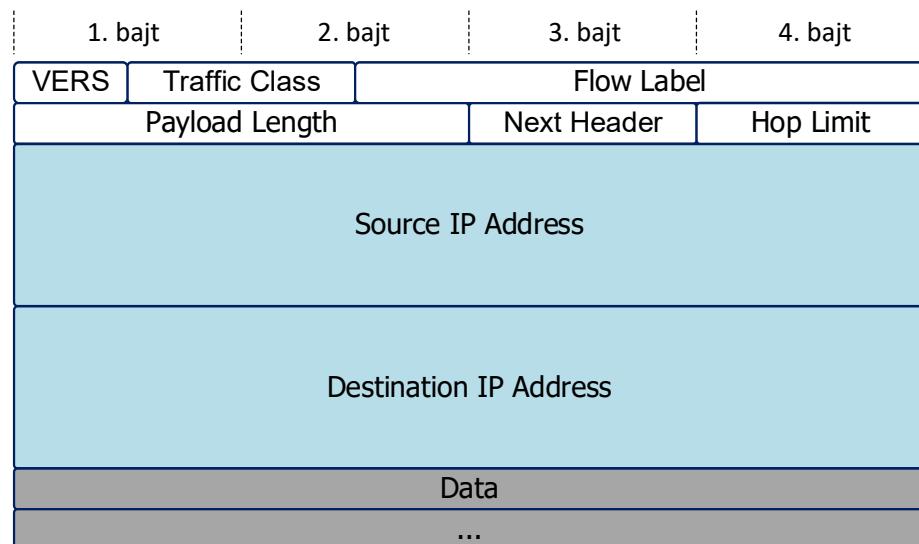
# Ruting opcija

- Princip rada
  - Izvořite definiše sekvencu adresa međutačaka, poslednja adresa je odredište
  - Odredišna adresa regularnog IPv6 zaglavlja je adresa prve međutačke
  - Ruter kada prepozna sebe kao odredište, a postoji ruting zaglavje radi:
    - $N = Segment\ Left$
    - Adresa odredišta se manja sa adresom na  $N$ -toj poziciji od kraja sekvence



# IPv6 adrese

- IPv6 adresa je dužine 16 bajta (128 bita)
  - 4x veće od IPv4 !
- Piše se u heksadekadnom obliku
  - Jedna heksadekadna cifra od 4 bita – „*nibble*“
- Maska se koristi u prefiks notaciji (“/n”)
- Primer:
  - 2340:13c1:a12d:001d:02c3:19ff:fe7b:5004/64



# IPv6 adrese

- **Skraćeni zapis**

1. Izbaciti vodeće nule u grupama od 4 cifre (nakon znaka “:00x” => “:x”)
2. Izbaciti samo jedan niz grupa sa nulama (“:0:0:0:” => “::”)

- Primer 1: 2001:417b:0000:0000:0000:0000:0000:01af/64

- Skraćeni zapis:

- 1. korak: **2001:417b:0:0:0:0:1af/64**
    - 2. korak: **2001:417b::1af/64**

- Primer 2: 2001:417b:0000:0000:002c:0000:0000:01af/64

- Neispravno: **2001:417b::2c::1af/64** - nije jednoznačno:

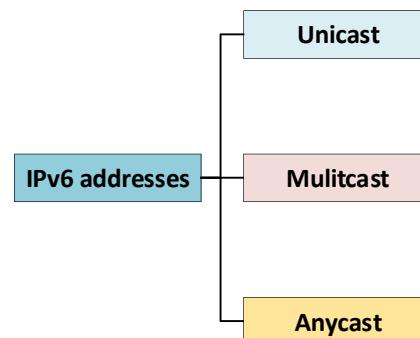
- 2001:417b:0:0:0:2c:0:1af/64,
    - 2001:417b:0:0:2c:0:0:1af/64 ili
    - 2001:417b:0:2c:0:0:0:1af/64

- Ispravno:

- **2001:4170::fff:0:0:112/64** ili
    - **2001:4170:0:0:fff::112/64**

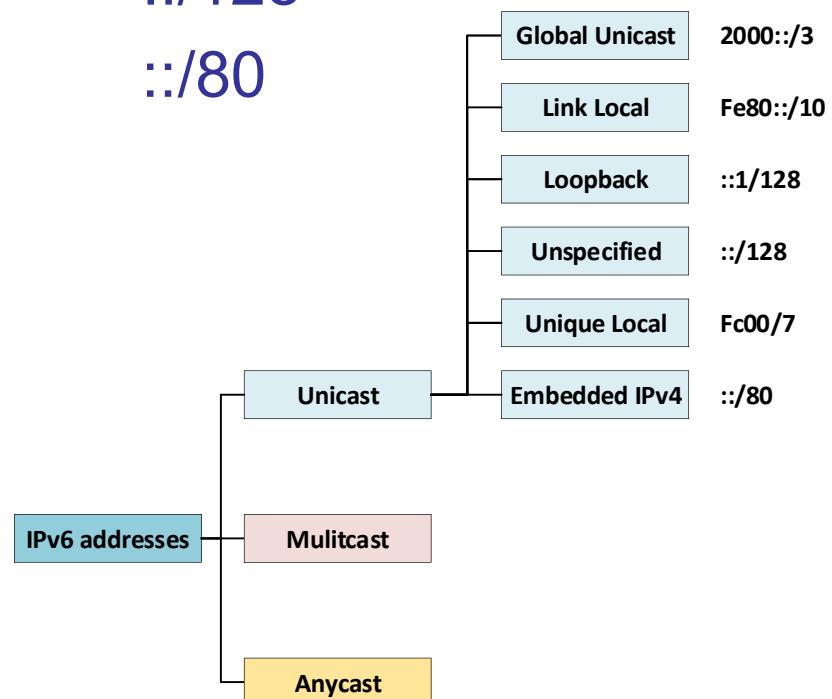
# Vrste IPv6 adresa

- **Unicast**
  - Jedinstvena adresa, identificuje interfejs
- **Multicast**
  - Adresa koja identificuje više interfejsa različitih uređaja prema nekoj zajedničkoj nameni
    - Paket poslat na *multicast* adresu biće prosleđen na sve pripadajuće interfejse
- **Anycast**
  - Adresa koja identificuje više interfejsa različitih uređaja
    - Paket poslat na *anycast* adresu biće prosleđen samo jednom interfejse



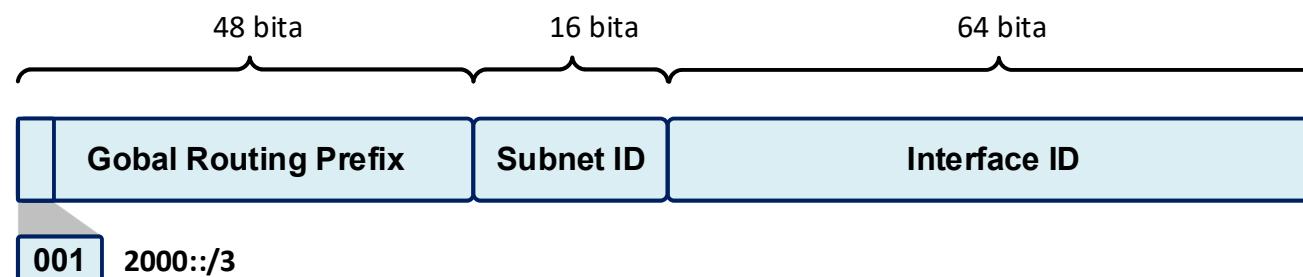
# *Unicast* adrese

- *Global Unicast Address (GUA)* 2000::/3
- *Unique Local Address (ULA)* fc00/7
- *Link-Local Address (LLA)* fe80::/10
- *Loopback Address* ::1/128
- *Unspecified Address* ::/128
- *Embedded IPv4 Address* ::/80



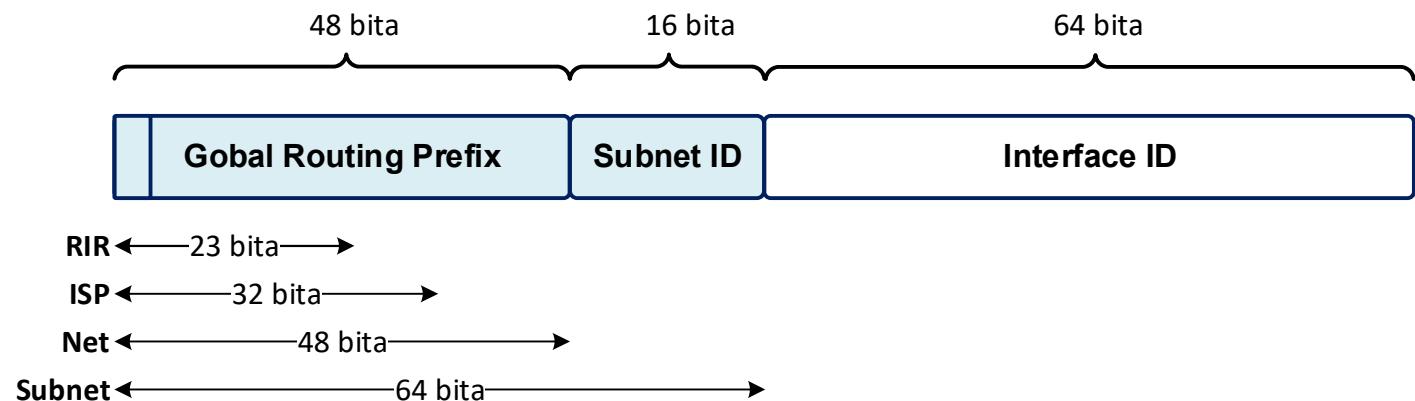
# Global Unicast adrese – javne adrese

- Javna adresa, dostupna na Internetu
- Opseg: **2000::/3** - počinju sa binarnom vrednošću “001”
- Terminologija:
  - **Prefix** - mrežni deo adrese
  - **Interface ID** – adresa interfejsa u IPv6 mreži (ekvivalent IPv4 host delu)
- Obično se logički deli na tri dela:
  - Globalni prefiks (*Global Routing Prefix*) – tipično prvih 48 bita, dodeljuje se provajderima i drugim korisnicima
  - Adresa podmreže (*Subnet ID*) – tipično 16 bita, podmreže unutar osnovne mreže
  - Adresa hosta odnosno interfejsa (*Interface ID*) – tipično poslednja 64 bita
- Mrežni deo, odnosno maska, može da „uđe“ i u Interfejs ID, ali:
  - Nije dobra praksa
  - Obično nema potrebe



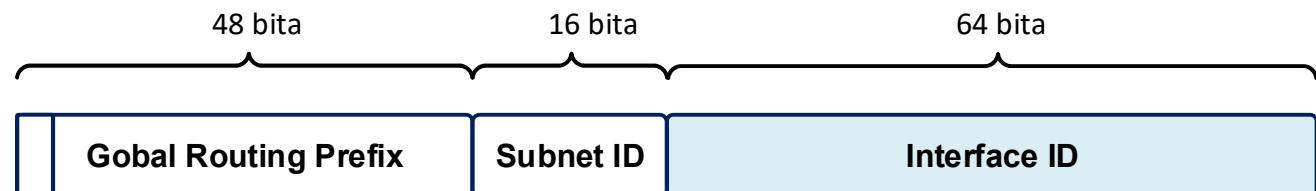
# Global Routing Prefix, Subnet ID

- Agregacija prefiksa – hijerarhijska podela
  - Kontinenti (RIR), globalni provajderi (ISP), države, regione...
  - Efikasnije rutiranje
- *Provider-Aggregatable (PA)*
  - Pripada opsegu adresa povjedear – agregacija
  - Prednost - Na naplaćuje se, provajderi dodeljuju svojim korisnicima
  - Nedostatak - Promena provajdera zahteva promenu prefiksa
- *Provider-Independent (PI)*
  - Dodeljuje se od strane RIR-a, kao i mreže provajdera
  - Prednost – Nezavisne od provajdera, moguće povezivanje na više provajdera
  - Nedostatak – Obično se naplaćuje



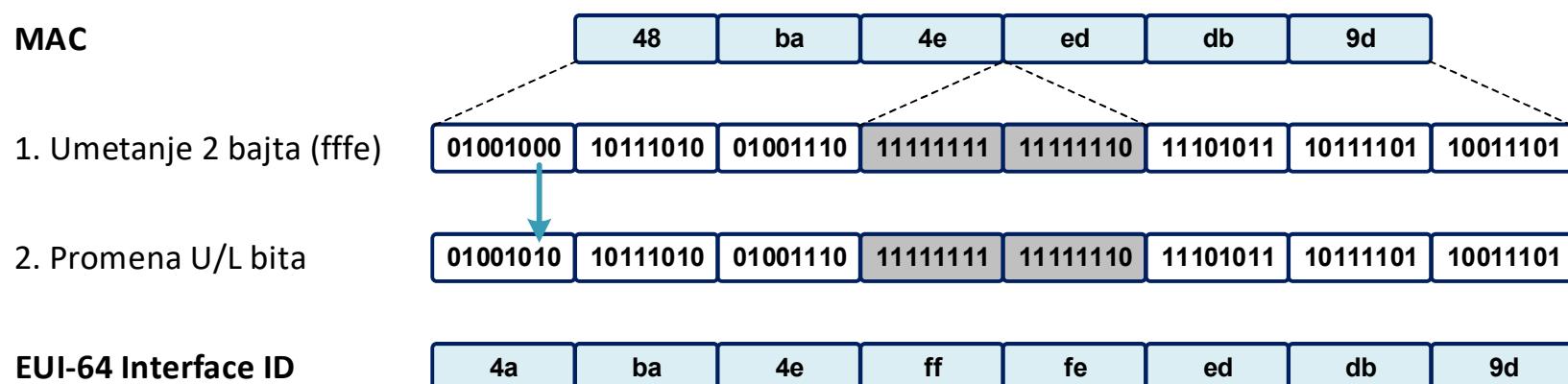
# *Interface ID*

- Polje adrese koje označava uređaje u podmreži
  - Host deo adrese – IPv4 terminologija
  - *Interface ID* – IPv6 terminologija (*Interfejs ID*)
- Postavljanje
  - Statički – manuelno
    - Proizvoljna vrednost, obično mali brojevi kao kod IPv4
    - Dozvoljene su sve jedinice i sve nule, ali za time nema potrebe
  - Dinamički – automatski
    - Pravilo EUI-64 (*Extended Unique Identifier*)
    - *Random* – pseudo-slučajan niz bita (*default* za Windows računare)



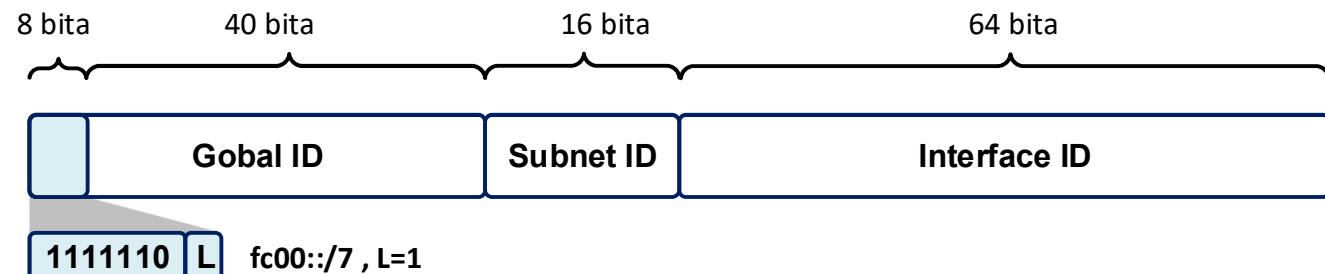
# EUI-64 - *Extended Unique Identifier*

- EUI-64 - pravilo generisanja *Interface ID* na osnovu MAC adrese
  - 6 bajta MAC adrese se proširuje na 8 bajta koji čine *Interface ID*
  - Deli se MAC adresa na dve grupe od po 3 bajta
  - U sredinu se umeću dva bajta: ff i fe (11111111 i 11111110)
  - Sedmi bit prvog bajta U/L bit (*Universal/Local* bit) - postavlja se na 1
    - 0 – *Universal*: MAC adresa je fizički upisana (*burned-in*)
    - 1 – *Local*: MAC adresa je logički konfigurisana na proizvoljan način i ima lokalno značenje



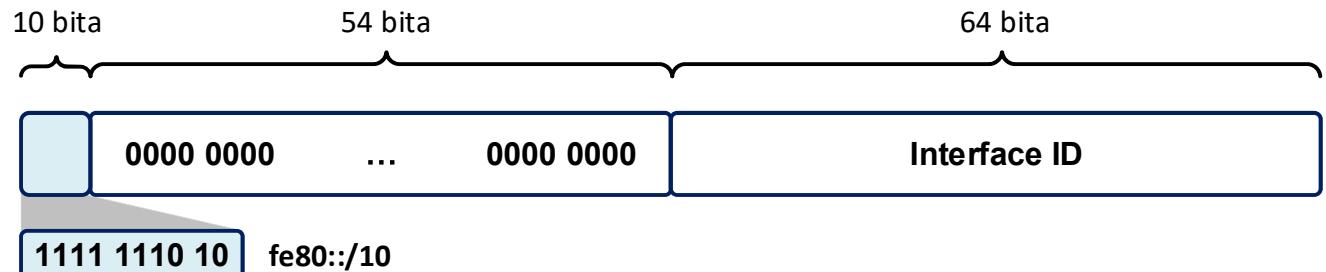
# *Unique Local* adrese – privatne adrese

- Namjenjena za korišćenje u privatnim mrežama, RFC 4193
  - Po analogiji sa IPv4 privatnim adresama
- Opseg: **fc00::/7**
  - Sedmi bit:
    - 0 – trenutno se ne koristi
    - 1 – trenutno jedino dozvoljeno
  - Slobodan opseg: fd00::/8
- Ne smeju da se oglašavaju na Internetu
- *Global ID* – pseudo-slučajna vrednost
  - Definisan je algoritam za generisanje, <https://www.sixxs.net/tools/grh/ula>
  - Omogućava povezivanje više različitih mreža sa *Unique Local* adresama



# *Link Local* adrese

- Za korišćenje samo u unutar lokalne IP mreže (L2 segment)
  - Opseg: **fe80::/10**
  - Novi koncept u odnosu na IPv4
  - Ruteri ne prosleđuju pakete sa ovim adresama
  - Format: fe80 + 54x0 + *Interface ID*
  - Dodela Interfejs ID
    - Automatski (EUI-64)
    - Manuelno - može se postaviti bilo koja vrednost, obično se postavlja na ruterima, radi jednostavnijeg praćenja
    - *Random* – pseudo-slučajan niz bita
- Primer:
  - Ruteri komuniciraju preko *Link Local* adresa, oglašavaju kao *next-hop*



# Specijalne *Unicast* adrese

- **Loopback Address – ::1/128**

- Logička adresa za lokalne korišćenje na jednom uređaju - adresa tog uređaja
- Ekvivalentna IPv4 adresi 127.0.0.1
- Ne izlazi van uređaja, ne rutira se

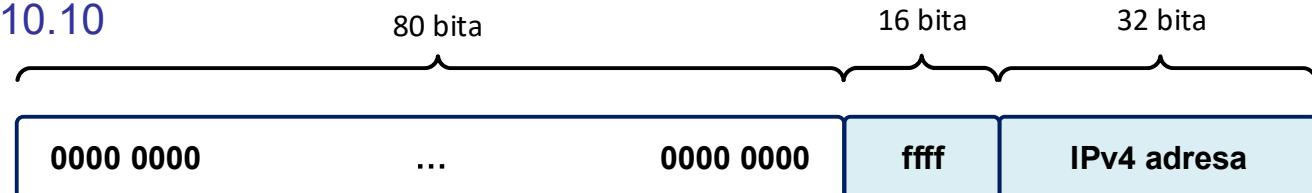
- **Unspecified Address – ::/128**

- Nepostojeća adresa – sadrži sve nule
- Sadržaj adresnog polja kada adresa nije poznata – samo kao izvorišna adresa
- Ne rutira se

- **Embedded IPv4 Address – ::/80**

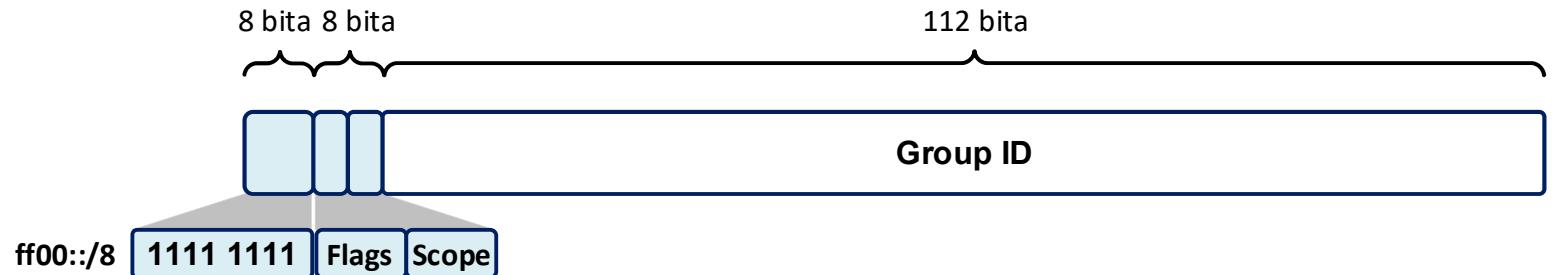
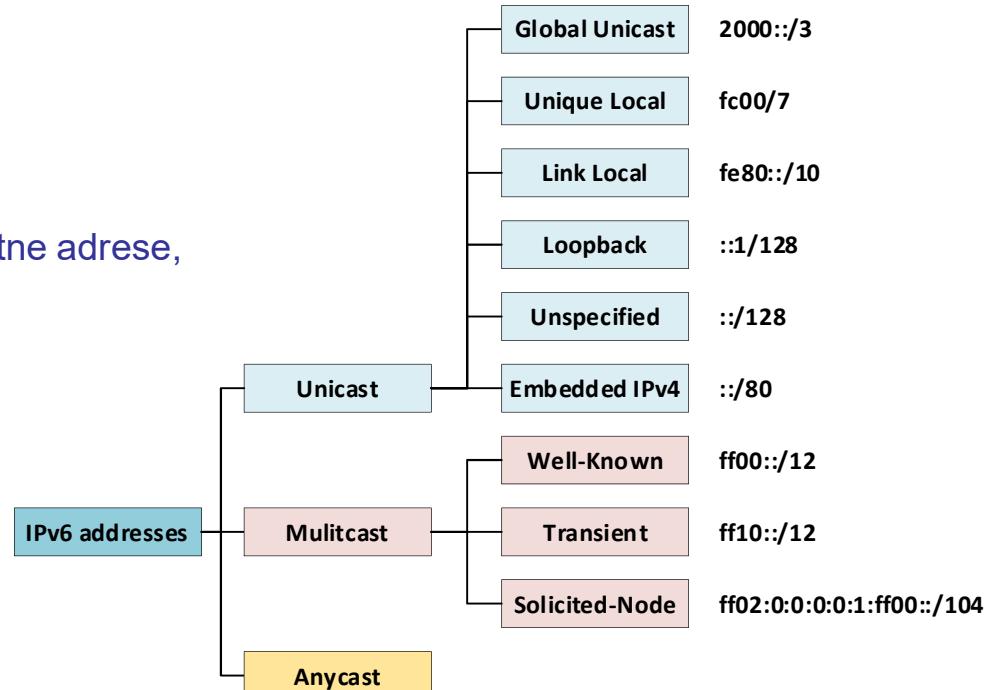
- Za tranziciju sa IPv4 na IPv6
- Na početak se dodaje 80 nula i 16 jedinica
- IPv4 su poslednja 4 bajta u IPv6 adresi – i dalje u *Dotted Decimal* formi
- Primer:

- ::FFFF:192.168.10.10



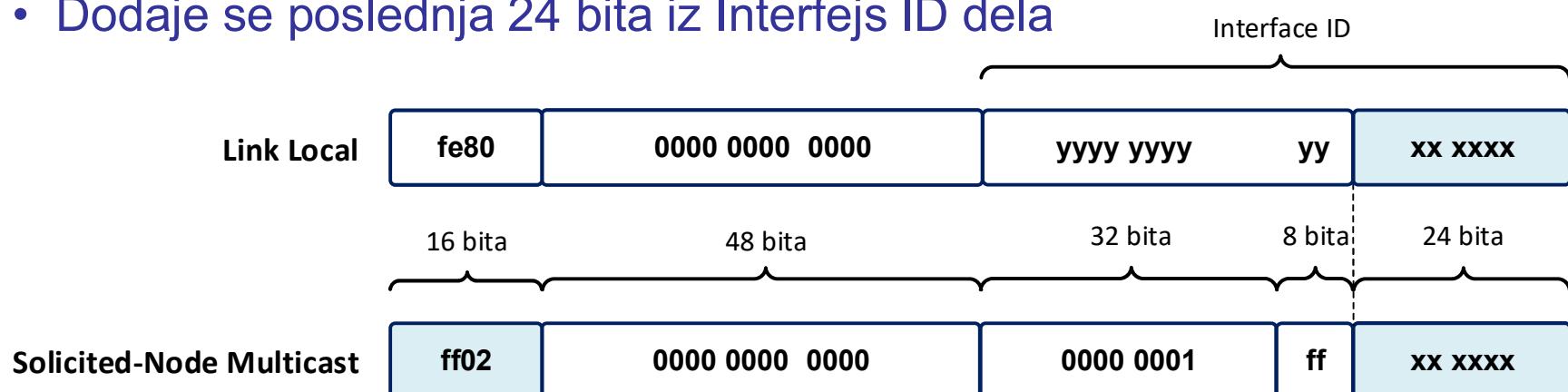
# IPv6 *multicast* adrese

- Opseg: ff00::/8
- *Flags* – 4 bita specijalnih flegova:
  - T fleg:
    - 0 – **Well-Known**, predefinisane permanentne adrese, dodeljene od strane IANA
    - 1 – **Transient**, dodeljene po potrebi od strane različitih multikast aplikacija
- Scope
  - 4 bita koji definišu opsege korišćenja
    - 2 – samo na lokalnom L2 segmentu
    - 8 – na nivou organizacije (Subnet ID)
    - 14 (E) – globalni opseg
- Primeri:
  - FF02::1 – adresa svih IPv6 uređaja, zamena za *broadcast*
  - FF02::2 – adresa svih IPv6 ruteru
  - FF02::5 – adresa svih IPv6 OSPF ruteru



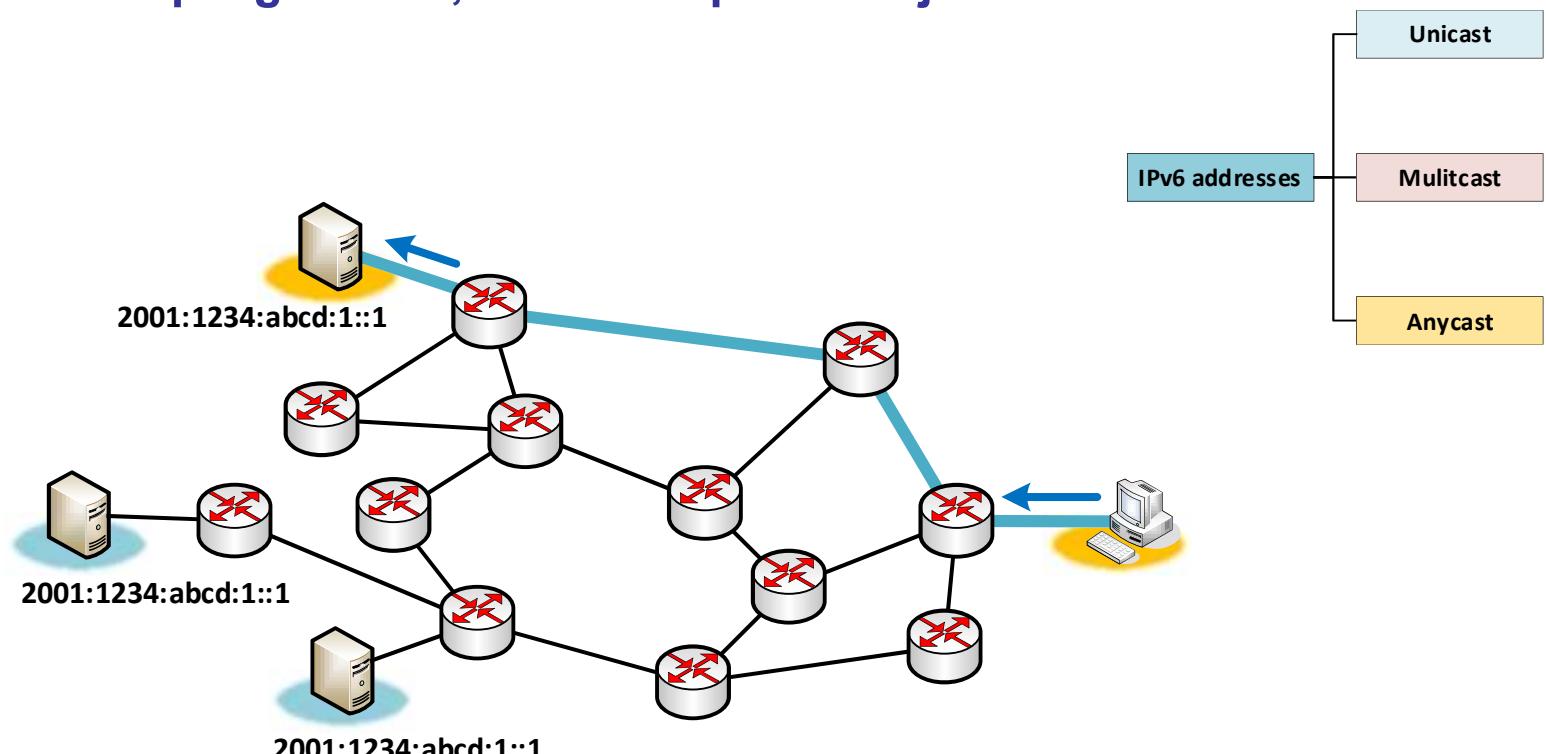
# Solicited-Node Multicast adrese

- Odnose se na pojedinačne uređaje
- Automatski generisane iz: GUA, ULA i LLA
- Koriste se za internu komunikaciju - *Neighbor Discovery Protocol*
  - Address Resolution (ekvivalent ARP-a)
  - Duplicate Address Detection (DAD) – detekcija duplih adresa
- Mapiranje:
  - Fiksni prefix: **ff02:0:0:0:0:1:ff00::/104**
  - Dodaje se poslednja 24 bita iz Interfejs ID dela



# Anycast adrese

- Identificuje više interfejsa koji pripadaju i različitim uređajima, bilo gde na mreži
  - Više uređaja sa istom adresom na mreži
  - Paketi stižu samo do jednog najbližeg uređaja (određeno protokolom rutiranja i metrikom)
  - Nije poseban opseg adresa, već koncept rutiranja *unicast* adresa**



# Konfigurisanje IPv6 adresa

- Statičko
  - Konfigurisanje cele adrese – 128 bita, nepraktično
  - Konfiguracija samo mrežnog dela adrese – 64 bita
    - *Interface ID* se automatski postavlja po pravilu EUI-64
- Dinamičko
  - *Stateful DHCPv6* – po analogiji sa DHCP za IPv4
    - DHCPv6 pamti kom uređaju je dodelio koju adresu
  - ***Stateless Address Autoconfiguration* (SLAAC)**
    - Automatsko uspostavljanje IPv6 adrese za hostove (interfejse)
    - Nova funkcija ugrađena u IPv6
    - Uređaji automatski saznaju
      - Mrežni deo od 64 bita (*site prefix*),
      - *Default Gateway*
      - DNS server (opciono)
    - *Interface ID* se automatski postavlja po pravilu EUI-64 ili slučajnim izborom

# Konfigurisanje IPv6 adresa - primer

## Konfigurisanje statičke IPv6 adrese:

```
interface Serial0/0/0
  ipv6 address 2340:1111:1::1/64
```

```
R1#show ipv6 interface serial 0/0/0
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::240:BFF:FEB2:48B6
Global unicast address(es):
  2340:1111:1::1, subnet is 2340:1111:1::/64
```

## Konfigurisanje dinamičke IPv6 adrese preko pravila EUI-64:

```
interface Serial0/0/0
  ipv6 address 2340:1111:1::/64 eui-64
```

```
R1#show ipv6 interface serial 0/0/0
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::240:BFF:FEB2:48B6
Global unicast address(es):
  2340:1111:1:0:240:BFF:FEB2:48B6, subnet is 2340:1111:1::/64 [EUI]
```

# ICMPv6

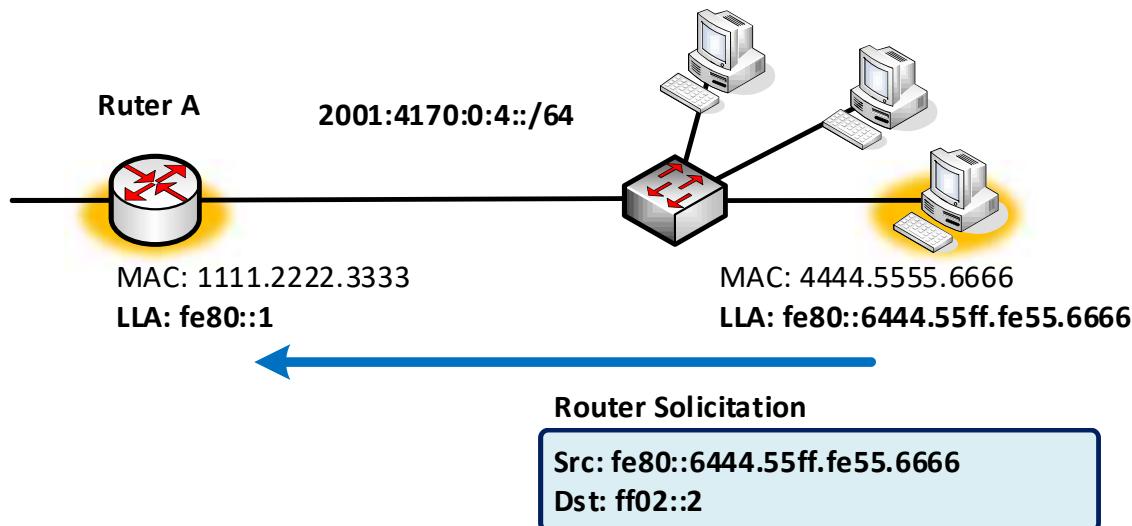
- ICMPv6 (*Internet Control Message Protocol*)
  - Slične funkcije kao kod ICMP za IPv4
  - **Error Messages** – poruke o grešci
    - *Destination Unreachable*
      - *Network Unreachable*
      - *Address Unreachable*
      - *Port Unreachable*
      - Reject route to destination
    - *Packet Too Big*
    - *Time Exceeded*
    - *Parameter Problem*
  - **Informational Messages** – Informacione poruke
    - Ping (*Echo Request/Echo Reply*)
    - *Multicast Listener Discovery*
    - *Neighbor Discovery Protocol*

# NDP - *Neighbor Discovery Protocol*

- **ICMPv6 *Neighbor Discovery Protocol* (NDP)**, RFC 4861
  - NDP zamenjuje ARP, ICMP *Router Discovery* i ICMP *Redirect*
  - Funkcije:
    - **Router discovery** – otkrivanje svih povezanih ruteru
    - **Prefix discovery** – otkrivanje mrežne adrese
    - **Address Resolution** – ekvivalentno ARP protokolu
    - **Duplicate Address Detection** – otkrivanje da li je adresa iskorišćena
    - **Redirect** – ekvivalentno „ICMP Redirect“ za IPv4
    - **Neighbor Unreachability Detection**
  - Poruke:
    - **Router Solicitation** (RS) i **Router Advertisement** (RA)
    - **Neighbor Solicitation** (NS) i **Neighbor Advertisement** (RA)

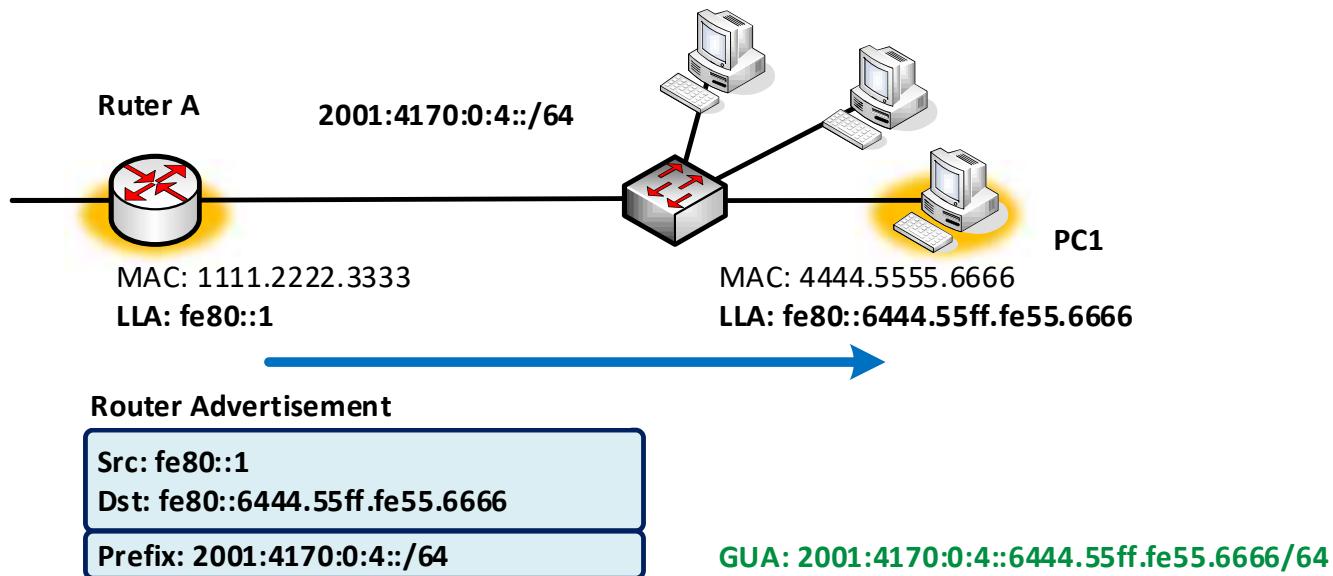
# Autokonfiguracija IPv6 uređaja

- *Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)*
  - Koristi se NDP u dva koraka
- **1. korak** – uređaj šalje upit ruteru preko **Router Solicitation (RS)** poruke
  - Uredaj šalje upit svim ruterima na lokalnoj mreži
  - Izvorišta IP adresa: *Link-Local* adresa uređaja
  - Odredišna IP adresa: multikast adresa FF02::2 (*All IPv6 Routers*)



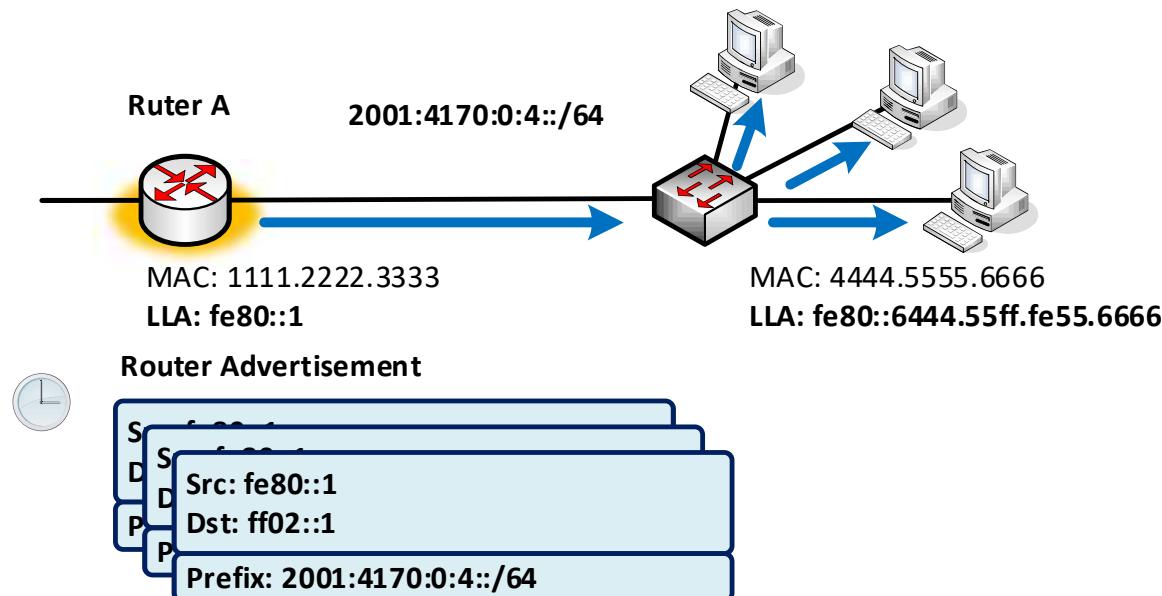
# Autokonfiguracija IPv6 uređaja

- **2. korak** – ruter odgovara slanjem **Router Advertisement (RA)** poruke
  - Interfejs rutera je konfigurisan sa unikast IPv6 adresom
  - RA poruka, kao odgovor na RS:
    - Izvorišna IP adresa: *Link-Local* adresa rutera
    - Odredišna IP adresa: *Link-Local* adresa uređaja
    - Sadržaj: mrežna adresa (prefiks), opcionalno i DNS
    - *Default Gateway* – uzima se izvorišna IP adresa (*Link-Local* adresa rutera)
  - Uredaj sam određuje *Interfejs ID* koristeći EUI-64 ili *random* pravilo



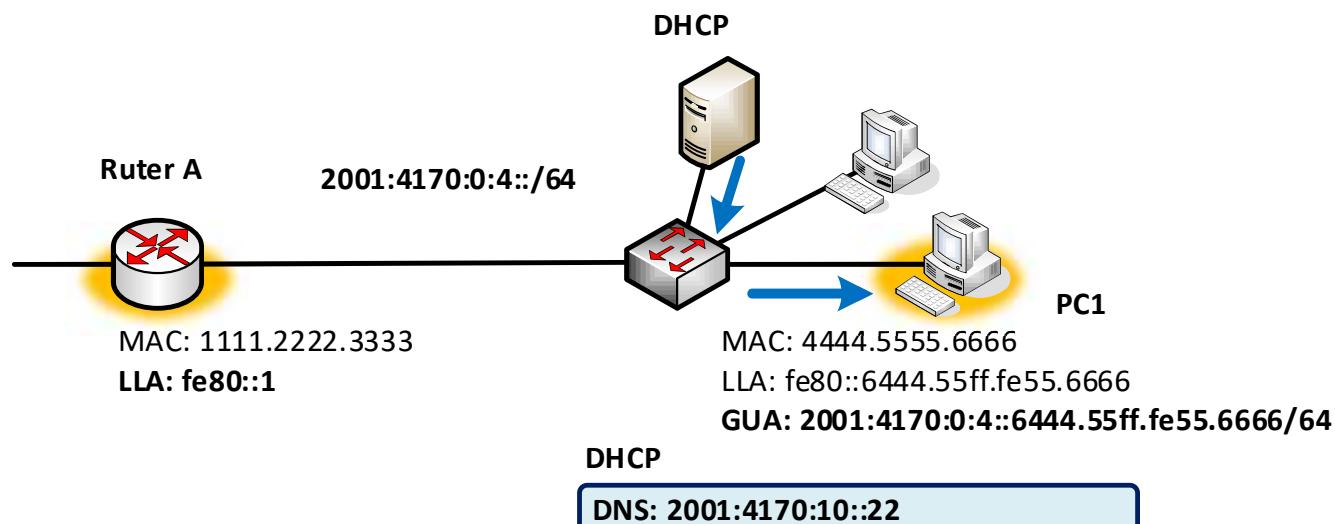
# Autokonfiguracija IPv6 uređaja

- Nezavisno od RS poruke, ruteri periodično samostalno oglašavaju RA poruke
  - Izvorišna IP adresa: *Link-Local* adresa ruteva
  - Odredišna IP adresa: FF02::1 (*All IPv6 Devices*)
- Period oglašavanja
  - Cisco ruteri: 200 sekundi



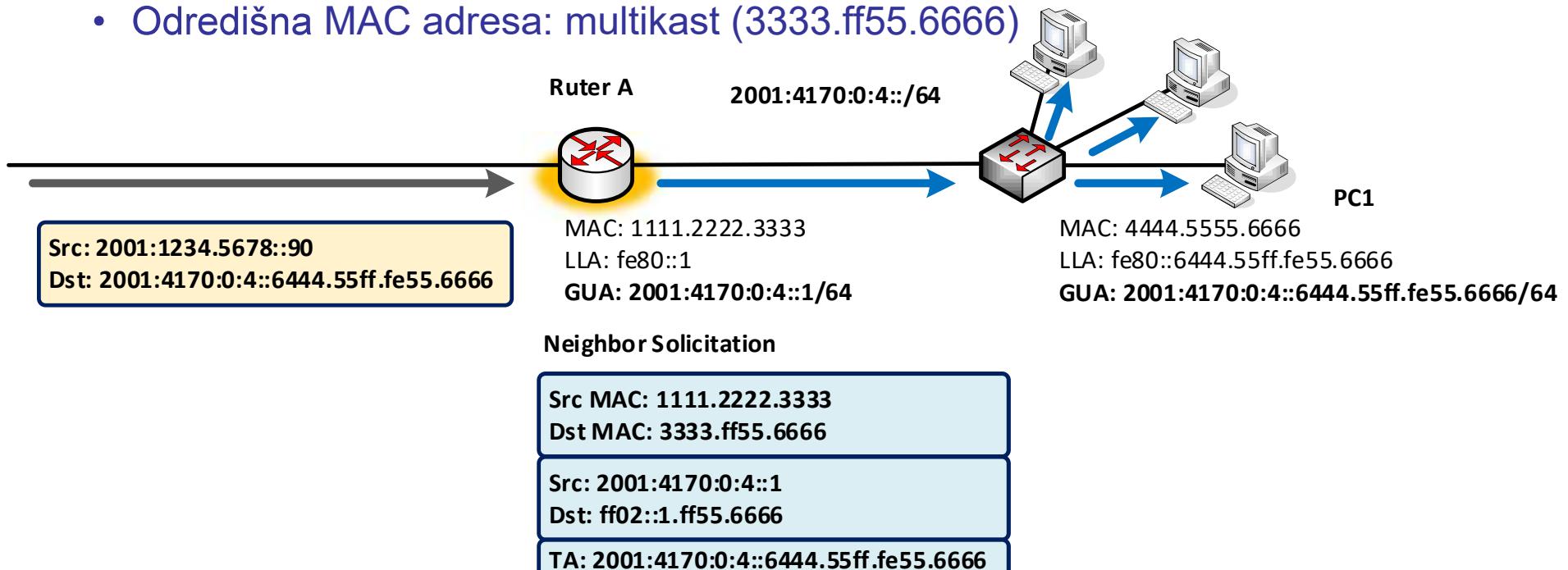
# Dodela DNS servera

- Slanje adrese DNS server – opciono polje u RA poruci
- Alternative
  - *Stateless DHCPv6*
    - Dodeljuje se samo DNS server (i još poneki parametri), ali ne i IP adrese
    - Ne pamti se šta je poslato pojedinačnim uređajima (jer se svima šalju iste informacije)
  - *Stateful DHCPv6*
    - Dodeljuje se IPv6 adresa, maska, *Default Gateway*, DNS server i ostali parametri
    - Pamti se koje su adrese dodeljene
- DNS server
  - AAAA zapis – IPv6 adrese



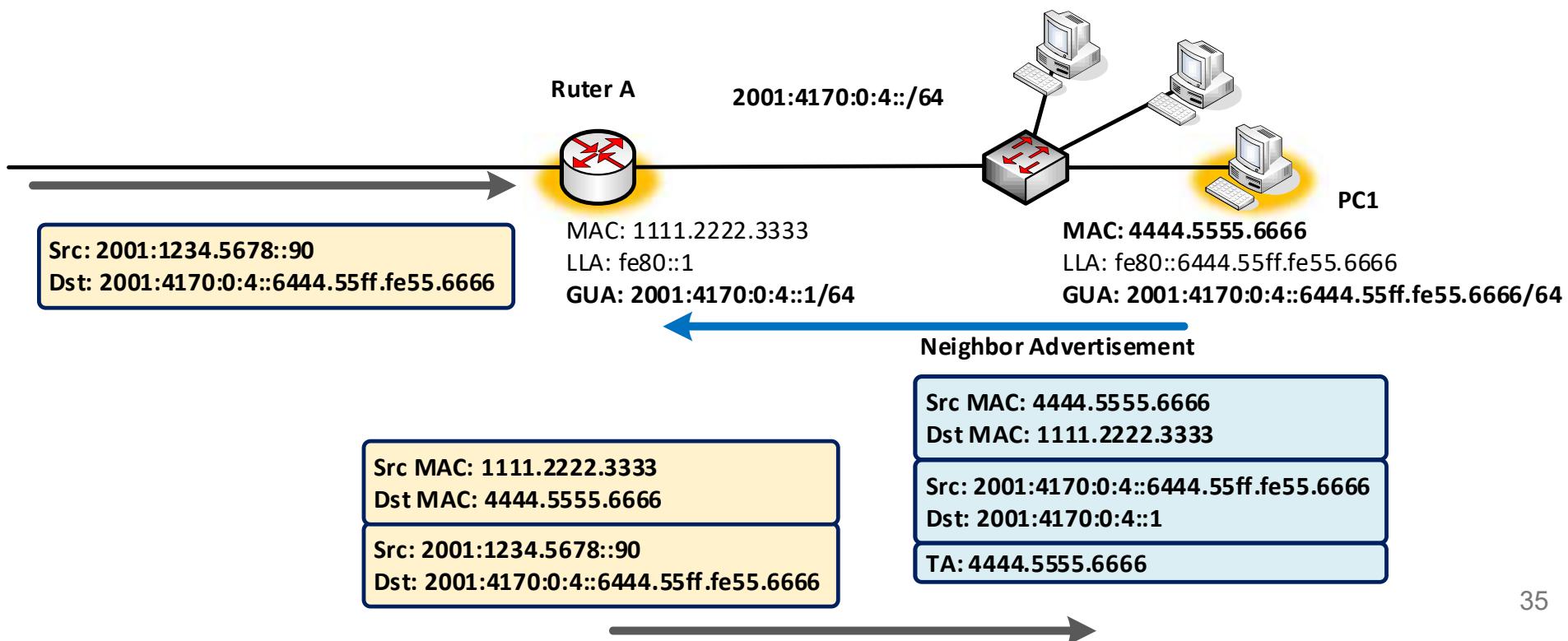
# Address Resolution

- Ekvivalent ARP protokola - za poznatu IPv6 adresu traži se MAC adresa
  - Sprovodi se u dva koraka
- **1. korak** – uređaj šalje upit preko **Neighbor Solicitation** (NS) poruke
  - Šalje bilo koji uređaj kome je potrebna MAC adresa da prosledi IPv6 paket
  - Izvorišna adresa: unikast adresa uređaja koji zahteva MAC adresu
  - Odredišna adresa: *Solicited-Node Multicast* adresa uređaja za poznatu IP adresu
  - Odredišna MAC adresa: multikast (3333.ff55.6666)



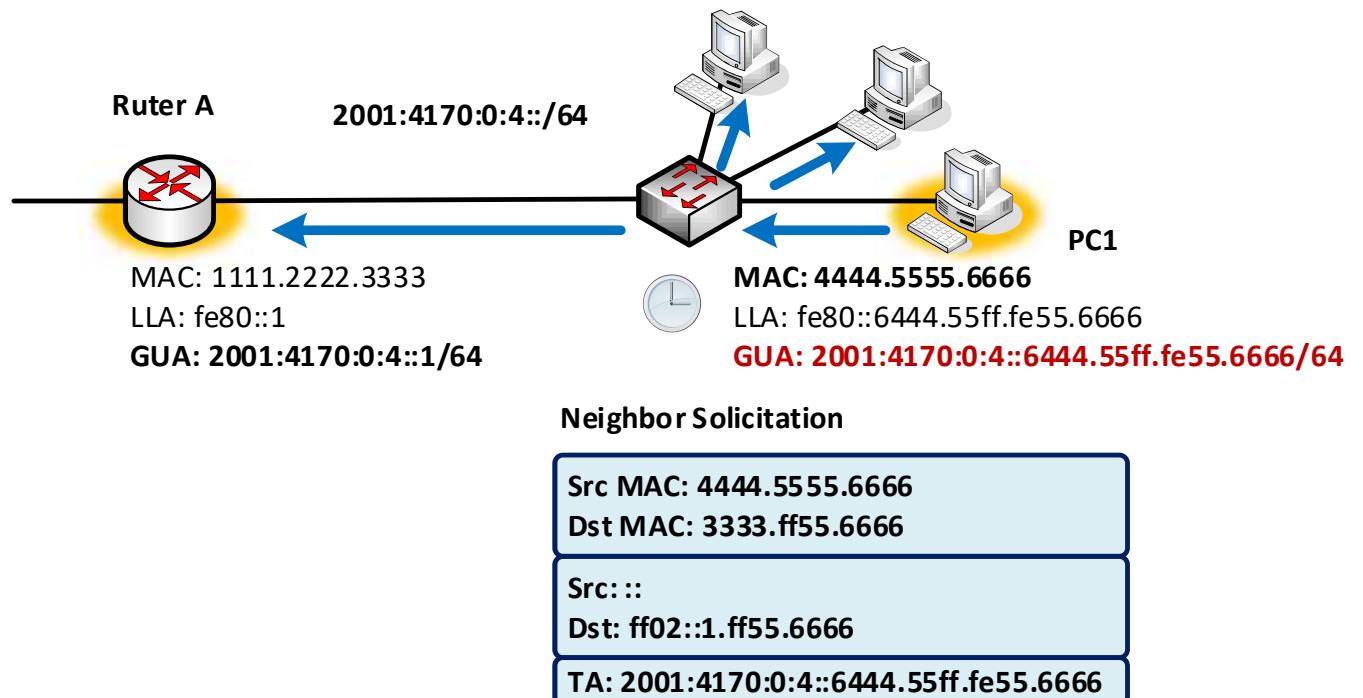
# Address Resolution

- **2. korak – prozvani uređaj šalje Neighbor Advertisement (NA) poruku**
  - Odgovara uređaja sa navedenom *Solicited-Node Multicast* adresom iz NS poruke
  - Izvorišna adresa: unikast adresa uređaja koji šalje NA poruku
  - Odredišna adresa: unikast adresa uređaja koji je poslao NS poruku
  - Sadržaj: zahtevana MAC adresa uređaja koji šalje NA poruku



# Duplicate Address Detection (DAD)

- Provera da li već postoji adresa koja se želi koristiti (RFC 4861)
  - Automatski se sprovodi za ručno postavljene adrese, SLAAC i DHCPv6
- Šalje se upit za adresu koja se želi koristiti (*Neighbor Solicitation*) i čeka se da li će neko da odgovori (*Neighbor Advertisement*)



# IPv6 protokoli rutiranja

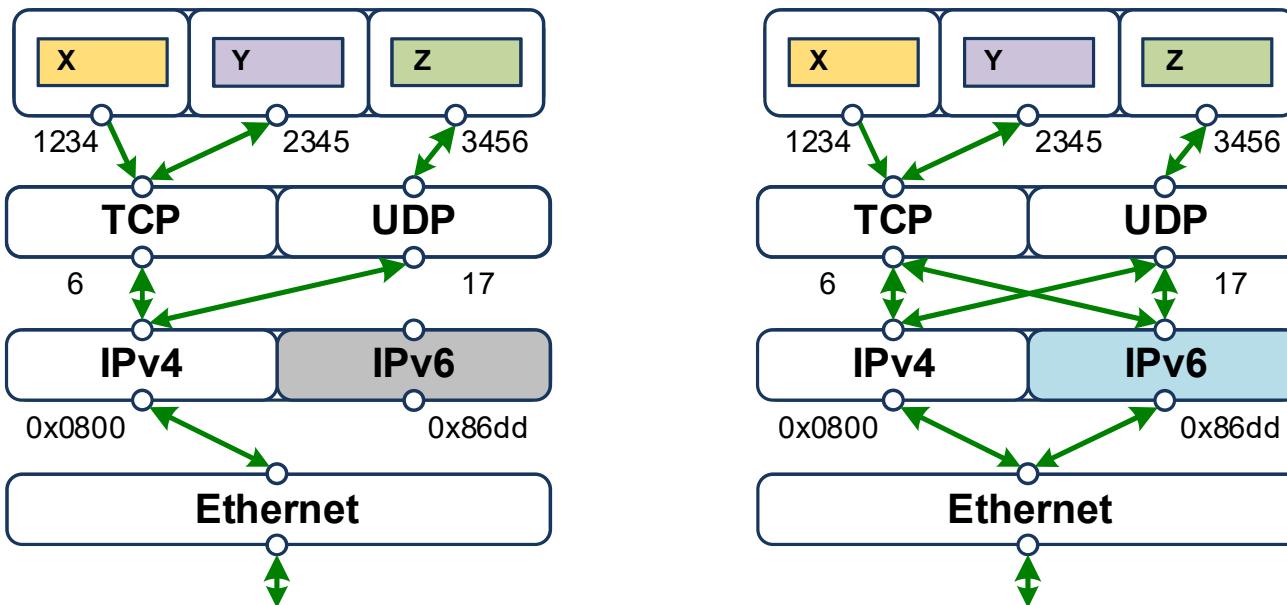
- IPv6 Rutiranje – isti principi kao i kod IPv4
  - Destination-based
    - Na osnovu destinacione adrese
  - *Longest-prefix match*
    - Nalaženje najspecifičnije odredišne mreže u ruting tabeli
- Protokoli rutiranja za IPv6
  - Nove verzije postojećih protokola
    - RIPng
    - OSPFv3
    - IS-IS
    - *Multiprotocol BGP*

# IPv6 i IPv4

- Prelazak sa IPv4 na IPv6
  - Inertan, komplikovan i dugotrajan proces
  - Potrebno je obezbediti postepeno uvođenje IPv6 i integraciju u postojeće IPv4 mreža i aplikacija
- Mehanizmi tranzicije sa IPv4 na IPv6
  - **IPv4/IPv6 Dual Stack**
    - Istovremeni radi i IPv4 i IPv6
  - **IPv6 Tunelovanje (IPv6 Tunneling)**
    - Enkapsulaciji IPv6 paketa u IPv4 paket
  - **Mehanizam translacije protokola (Protocol Translation)**
    - Translaciji IPv6 paketa u IPv4 paket i obratno
    - Omogućava komunikaciju IPv6 i IPv4 uređaja

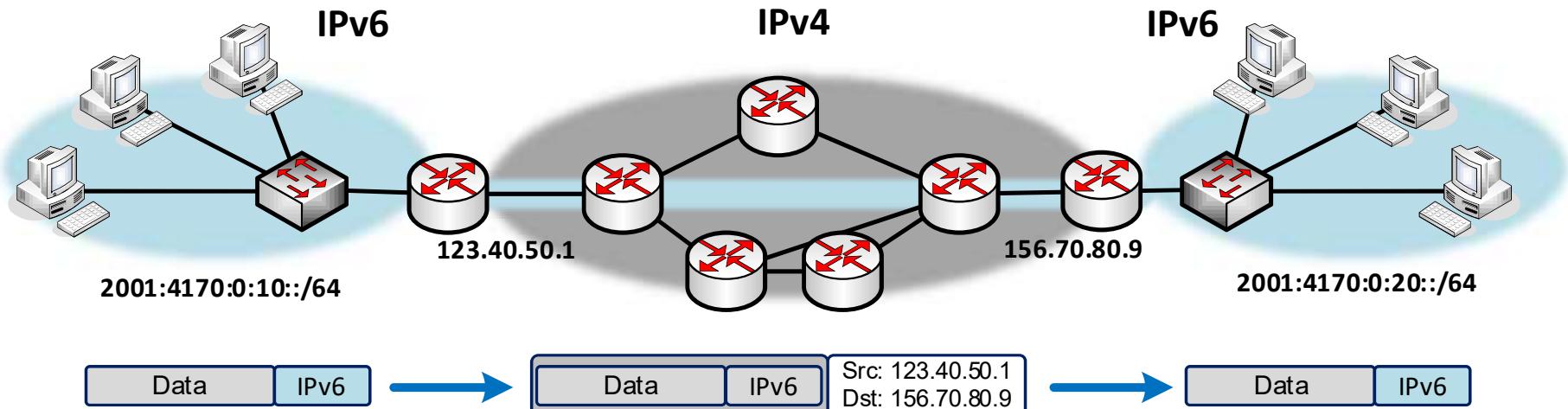
# IPv4/IPv6 Dual stack

- Dvostruki IP sloj – i IPv4 i IPv6
  - Identifikator IPv6 protokola na L2 nivou je 86dd
- Svi protokoli viših slojeva mogu komunicirati preko IPv4 i IPv6
- Pojedine aplikacije će prvo pokušati komunikaciju preko IPv6
  - Npr. pristup veb sajtovima, DNS vraća i A i AAAA zapis



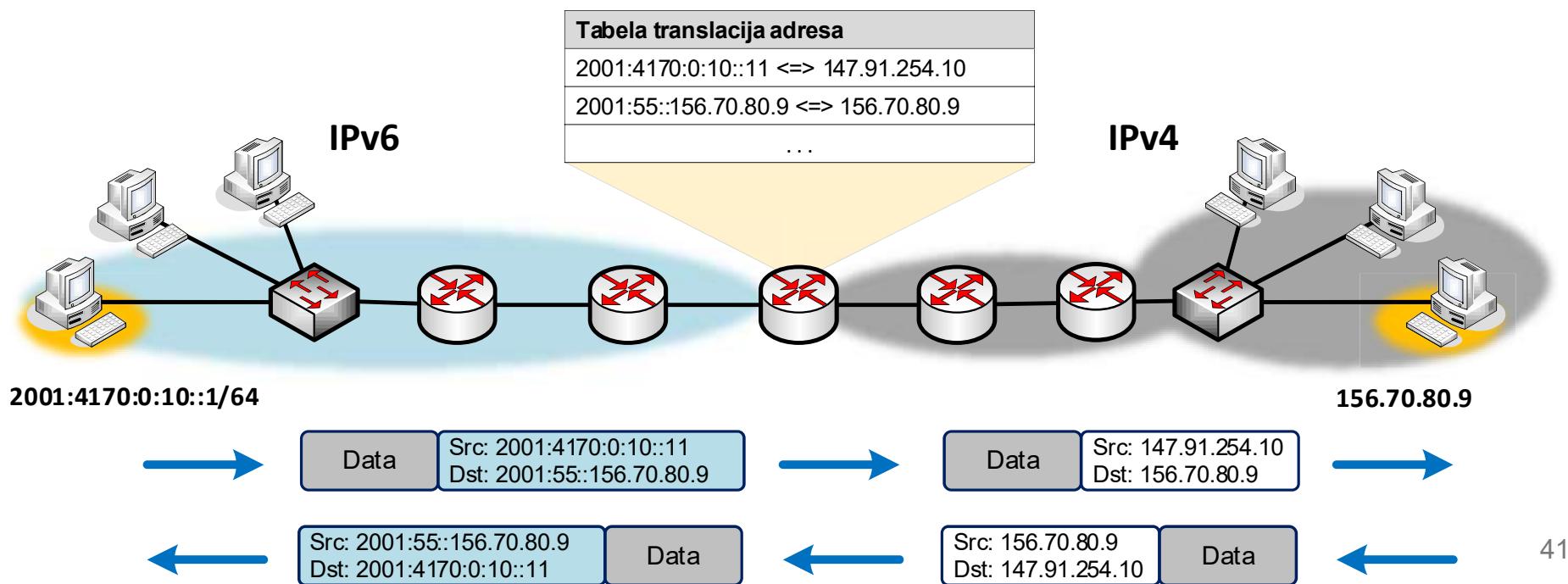
# IPv6 tunelovanje

- Mogućnost komunikacije IPv6 mreža, koje su povezane preko IPv4 mreže
  - Bez potrebe za izmenom postojeće IPv4 infrastrukture
- Na prelasku iz IPv6 u IPv4 – IPv6 paketi se enkapsuliraju u IPv4 pakete
  - IPv4 zaglavljje: IPv4 adrese ruteru koje formiraju „tunel“
- Na prelasku iz IPv4 u IPv6 – IPv6 paketi se dekapsuliraju iz IPv4 pakete
  - IPv6 zaglavljje: IPv6 adrese originalnog izvorišta i odredišta
- Efekat: IPv6 komunikacija između IPv6 domena
  - IPv4 domen je transparentan za učesnike u IPv6 komunikaciji
  - IPv6 tunel preko IPv4 mreže – ekvivalent jedne fizičke veze (1 korak)



# Translacija protokola

- Direktna komunikacija između IPv6 i IPv4 uređaja
  - Translaciju IPv6 i IPv4 adresa  
NAT-PT – *Network Address Translation – Protocol Translation*
  - Slično kao i IPv4 NAT
    - Zamena adresa u zaglavljima na graničnom ruteru između IPv6 i IPv4 domena



# IPv6 vs. IPv4

- Izvor: Hurricane Electric (<http://bgp.he.net/report/prefixes>)

Country		IPv4			IPv6		
		Prefixes	ASN	Prefixes/ASN	Prefixes	ASN	Prefixes/ASN
United States		244,263	19,356	12	25,701	3,511	7
China		69,212	7,504	9	4,932	315	15
Brazil		43,288	717	60	12,585	4,146	3
India		38,224	1,954	19	5,841	378	15
Russian Federation		38,096	5,252	7	2,495	915	2
Japan		11,135	725	15	5,401	336	16
Serbia		1,499	172	8	63	32	1



# Zaključak

- IPv6 protokol postaje sadašnjost računarskih mreža i Interneta
- Noviji operativni sistemi imaju podršku za IPv6
- Problemi:
  - Nedovoljna podrška novih aplikacija
  - Inertnost mrežnih administratora
  - Mora se obezbediti prelazni režim – mehanizmi tranzicije

# Literatura

- Wendell Odom  
„CCNA - Cisco official exam certification guide“  
Cisco Press
- Rick Graziani  
„IPv6 Fundamentals:  
A Straightforward Approach to  
Understanding IPv6“  
Cisco Press

