

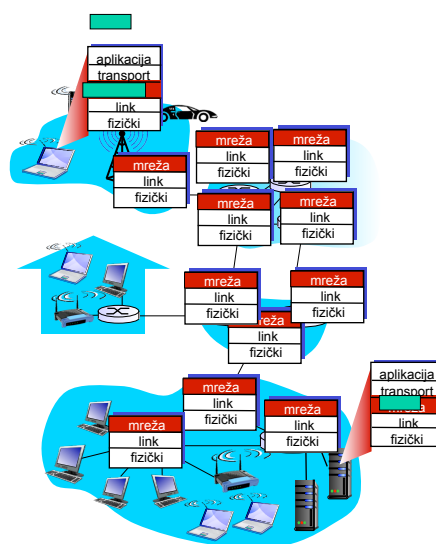
## Glava 4: Mrežni nivo

- Principi nivoa mreže
- IPv4 (Internet Protocol)
- IPv6
- Protokoli rutiranja
- SDN

Mrežni nivo 4-1

## Mrežni nivo

- Prenos segmenta od pošiljaoca do odredišta
- Na strani koja šalje enkapsuliraju se segmenti u datagrame
- Na strani prijema predaja segmenata transportnom nivou
- Protokoli mrežnog nivoa su implementirani u *svakom* hostu, ruteru
- Ruter ispituje polja zaglavlja svakog IP datagrama kojeg prosleđuje



Mrežni nivo 4-2

## Ključne funkcije mrežnog nivoa

- **prosleđivanje:** pomjeranje paketa sa ulaza rutera na odgovarajući izlaz (RAVAN PODATAKA)
  - **rutiranje:** izbor rute kojom se paketi prenose od izvora do destinacije (KONTROLNA RAVAN)
- analogija:**
- **rutiranje:** proces planiranja putovanja
  - **prosleđivanje:** proces prolaska kroz jednu raskrnicu

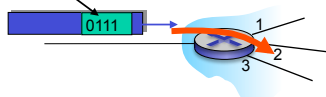
Mrežni nivo 4-3

## Mrežni nivo: ravan podataka, ravan kontrole

### **Ravan podataka**

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

Vrijednosti u zaglavlju datagrama



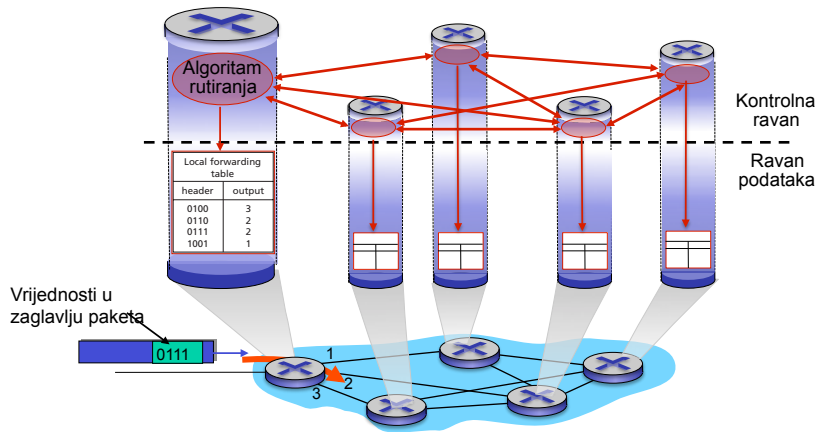
### **Kontrolna ravan**

- Mrežna logika
- Određuje kako se datagram rutira duž putanje od kraja do kraja od izvorišnog do odredišnog hosta
- Dva pristupa:
  - **Tradicionalni algoritmi rutiranja:** implementirani u ruterima
  - **software-defined networking (SDN):** implementirani u udaljenim serverima

Mrežni nivo 4-4

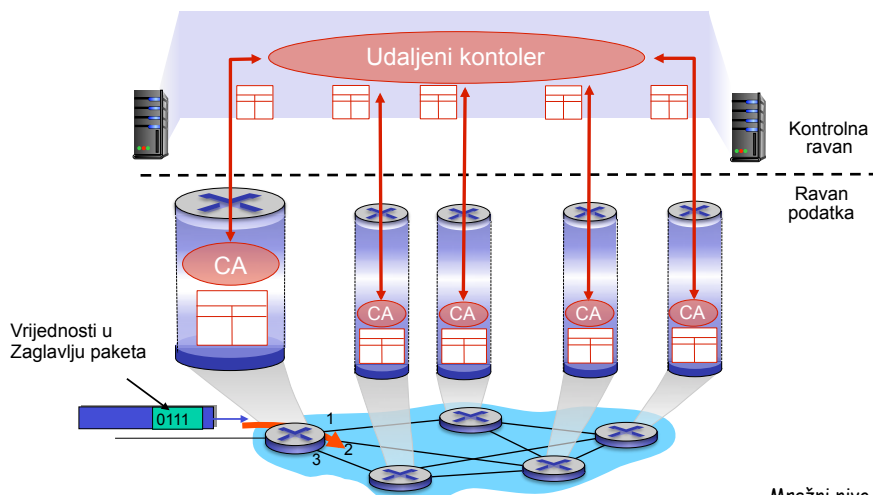
## Distribuirana kontrolna ravan

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



## Centralizovana kontrolna ravan

Udaljeni kontroler interaguje sa lokalnim kontrolnim agentima (CAs)



## Mrežni servisni model

**Pitanje:** Koji *servisni model* nudi “kanal” koji transportuje datagrame od pošiljaoca do prijemnika?

### Primjer servisa za individualne datagrame:

- Garantovana predaja
- Garantovana predaja sa kašnjenjem manjim od određene vrijednosti (recimo 40ms)

### Primjer servisa za tok datagrama:

- Redosledna predaja datagrama
- Garantovani minimalni protok toka
- Ograničene promjene u međupaketskim intervalima
- Nivo zaštite

Mrežni nivo 4-7

## Modeli servisa mrežnog nivoa:

Mrežna Arhitektura	Model Servisa	Opseg	Garantovani ?			“Congestion Feedback”
			Gub.	Red.	Tajm.	
Internet	best effort	bez	ne	ne	ne	ne (preko gubitaka)
ATM	CBR	konstantna brzina	da	da	da	nema zagušenja
ATM	VBR	garantov. brzina	da	da	da	nema zagušenja
ATM	ABR	garantov. minimum	ne	da	ne	da
ATM	UBR	bez	ne	da	ne	ne

- Internet model se proširuje sa: Intserv, Diffserv

Mrežni nivo 4-8

## Konektivni i nekonektivni servis

- Datagram mreža obezbeđuje nekonektivni servis nivoa mreže
- VC mreža obezbeđuje konektivni servis nivoa mreže
- Analogno servisima nivoa transporta, ali:
  - **Servis:** host-to-host
  - **Bez izbora:** mreža obezbeđuje jedan ili drugi
  - **Implementacija:** na okosnici

Mrežni nivo 4-9

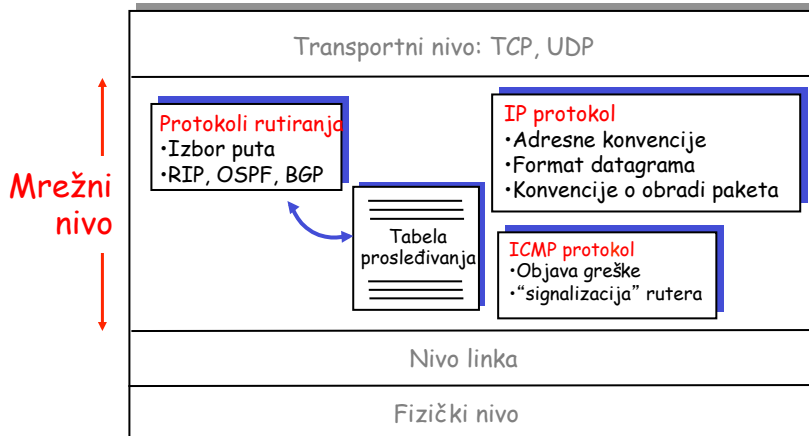
## Glava 4: Mrežni nivo

- Principi nivoa mreže
- **IPv4 (Internet Protocol)**
- IPv6
- Protokoli rutiranja
- SDN

Mrežni nivo 4-10

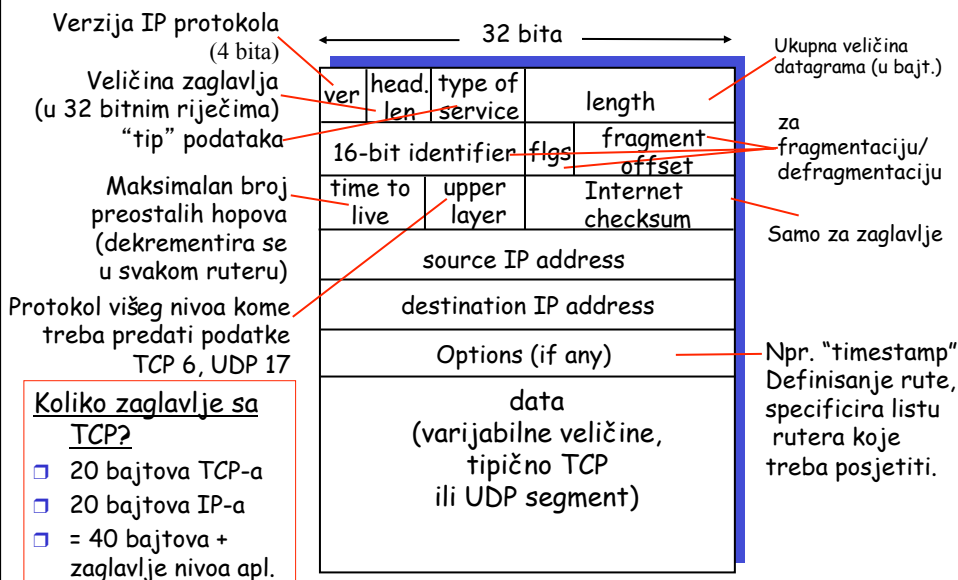
## Internet mrežni nivo

Host, ruter funkcije mrežnog nivoa:



Mrežni nivo 4-11

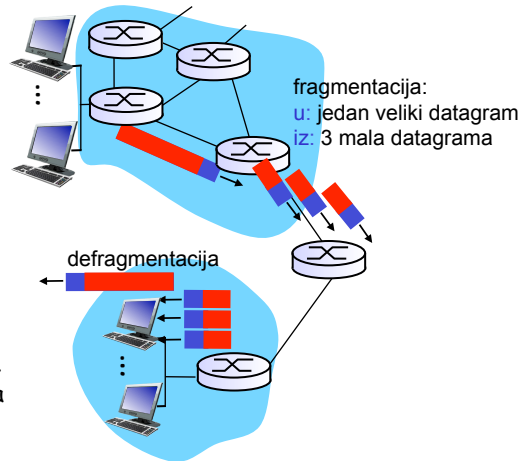
## Format IP datagrama



Mrežni nivo 4-12

## IP Fragmentacija & Defragmentacija

- Mrežni linkovi imaju MTU (max.transfer size) - najveći mogući okvir nivoa linka.
  - Različiti tipovi linkova, različiti MTU-ovi
- veliki IP datagram se dijeli ("fragmentira") u okviru mreže
  - jedan datagram postaje više datagrama
  - "defragmentira" se samo na konačnoj destinaciji
  - IP biti zaglavlja se koriste za identifikaciju redosleda vezanog za fragment



Mrežni nivo 4-13

## IP fragmentacija, defragmentacija

### Primjer:

- ❖ Datagram od 4000 B
- ❖ MTU = 1500 B

dužina	ID	fragflag	offset
=4000	=x	=0	=0

*Jedan veliki datagram se dijeli na više manjih datagrama*

1480 B u polju podataka

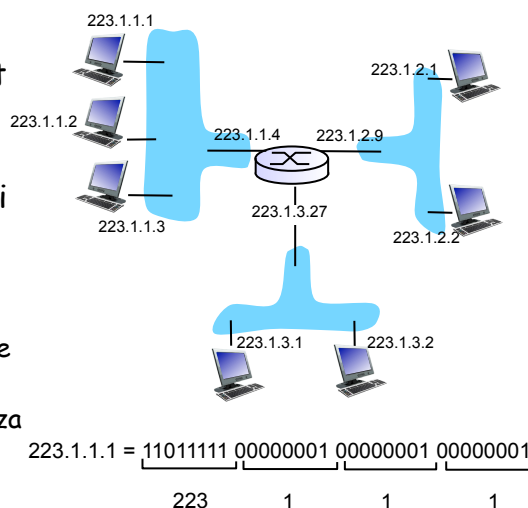
offset = 1480/8

dužina	ID	fragflag	offset
=1500	=x	=1	=0
=1500	=x	=1	=185
=1040	=x	=0	=370

Mrežni nivo 4-14

## IP Adresiranje: uvod

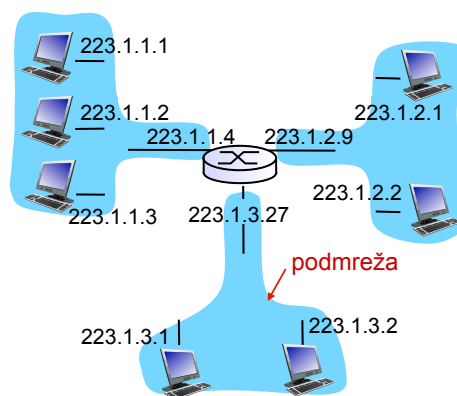
- **IP adresa:** 32-bitni identifikator za host ili ruter *interfejs*
- **interfejs:** veza između host/rutera i fizičkog linka
  - ruteri tipično imaju više interfejsa
  - I host može imati više interfejsa
  - IP adrese su vezane za svaki interfejs



Mrežni nivo 4-15

## IP Adresiranje

- **IP adresiranje:**
  - Mrežni dio (biti višeg reda)
  - Dio hosta (biti nižeg reda)
- **Šta je mreža?** (iz perspektive IP adrese)
  - Interfejsi uređaja sa istim mrežnim dijelom IP adrese
  - mogu fizički dosegnuti jedni druge bez učešća rutera



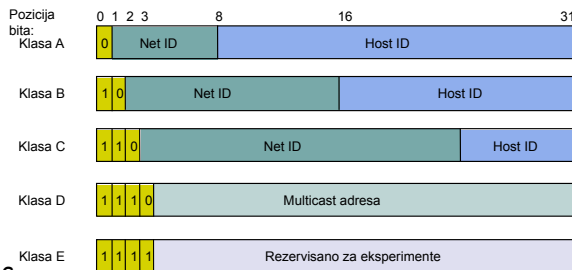
Mreža se sastoji od 3 IP podmreže (prvih 24 bita su mrežna adresa)

Mrežni nivo 4-16



## Classful IP Adresiranje

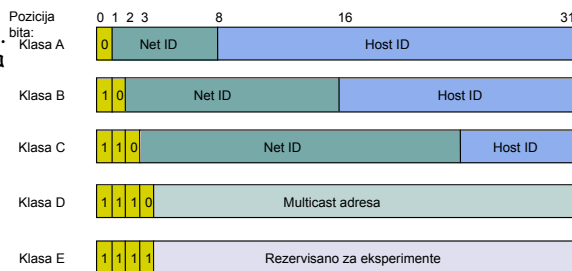
- IPver4 adresna struktura je podijeljena na pet adresnih klasa: A, B, C, D i E, identifikacijom najznačajnijih bita adrese kao što je prikazano na slici.
- Klasa A ima 7 bita za mrežni ID i 24 bita za host ID, što znači  $2^7-2=126$  mreža i  $2^{24}-2=16777214$  hostova. U klasu A spadaju adrese čiji je prvi bit uvijek 0. Ova klasa je namijenjena velikim organizacijama. Opseg validnih mrežnih adresa klase A je od 1.0.0.0 do 126.0.0.0.



Mrežni nivo 4-17

## Classful IP Adresiranje

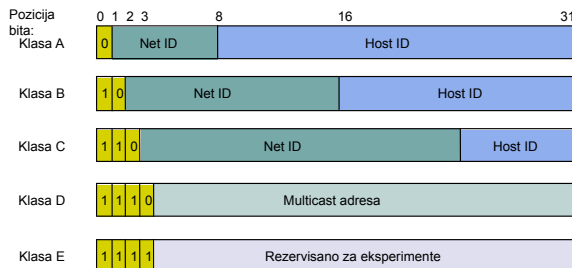
- ID, što znači  $2^{14}-2=16382$  mreža i  $2^{16}-2=65534$  hostova. U klasu B spadaju adrese čija su prva dva bita uvijek 10. Ova klasa je namijenjena organizacijama srednje veličine. Opseg validnih mrežnih adresa klase B je od 128.1.0.0 do 191.254.0.0.
- Klasa C ima 21 bit za mrežni ID i 8 bita za host ID, što znači  $2^{21}-2=2097150$  mreža i  $2^8-2=254$  hostova. U klasu C spadaju adrese čija su prva tri bita uvijek 110. Ova klasa je namijenjena malim organizacijama. Opseg validnih mrežnih adresa klase C je od 192.0.1.0 do 223.255.254.0.



Mrežni nivo 4-18

## Classful IP Adresiranje

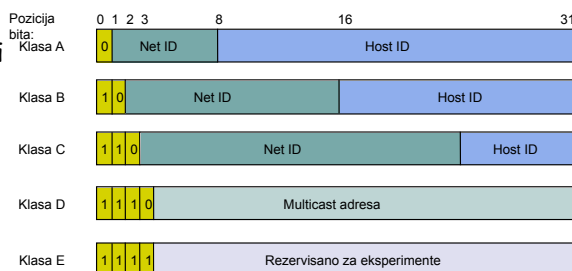
- Klasa D se koristi za multikast servis koji omogućava da host šalje paket grupi hostova koji pripadaju istoj multikast grupi. U klasu D spadaju adrese čija su prva četiri bita uvijek 1110. Ova klasa je namijenjena za multicast grupe. Opseg adresa koji pripadaju ovoj klasi je od 224.0.0.0 do 239.255.255.255. Ove adrese nijesu za komercijalnu upotrebu.
- Klasa E je rezervisana za eksperimente. U klasu E spadaju adrese čiji su prvih pet bita uvijek 11110. Ova klasa je namijenjena za multicast grupe. Opseg adresa koji pripadaju ovoj klasi je od 240.0.0.0 do 254.255.255.255. Ove adrese takođe nijesu za komercijalnu upotrebu.



Mrežni nivo 4-19

## Classful IP Adresiranje

- ID koji imaju sve jedinice i sve nule imaju specijalnu namjenu.
- Host ID koji se sastoji od svih jedinica znači da se paket *broadcast*-uje svim hostovima mreže čiji je mrežni ID specificiran.
- Ako se mrežni ID sastoji od svih jedinica to znači da se paket *broadcast*-uje svim hostovima lokalne mreže.
- Host ID koji se sastoji od svih 0 odgovara adresi mreže.



Mrežni nivo 4-20

## Classful IP Adresiranje

- IP adrese se najčešće pišu u formi tačka-decimalnog zapisa koji je pogodan za korišćenje od strane čovjeka. Adresa se dijeli na četiri bajta, pri čemu svaki bajt predstavlja decimalni broj, koji su razdvojeni tačkama. Na primjer adresa
- 10000000      10000111      01000100      00000101
  - 128      .      135      .      68      .      5
- Klasa adrese se lako određuje ispitivanjem prvog okteta adrese. U IP adresi 128.135.68.5 prvi oktet je 128. Kako 128 pada između 128 i 191, jasno je da je ovo IP adresa klase B.

Mrežni nivo 4-21

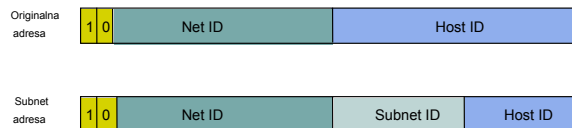
## Classful IP Adresiranje

- Određeni opsezi adresa su namijenjeni za privatne mreže (RFC1918).
- Ove adrese se koriste unutar mreža koje se ne vezuju direktno na Internet ili u mrežama u kojima je implementiran NAT.
- Ove adrese nijesu registrovane i ruteri na Internetu moraju odbacivati pakete sa ovakvim adresama. Opsezi privatnih adresa su: 10.0.0.0 - 10.255.255.255 (A klasa), 172.16.0.0 - 172.31.255.255 (B klasa) i 192.168.0.0 - 192.168.255.255 (C klasa - najčešće se primjenjuje u kućnim mrežama)

Mrežni nivo 4-22

## Classful IP Adresiranje

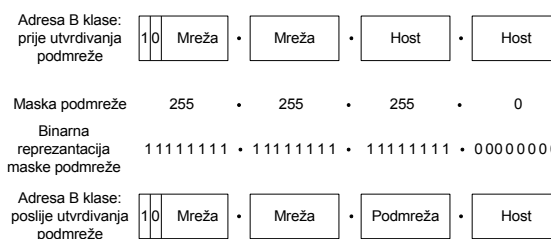
- Opisano IP adresiranje ima više nedostataka.
- Ovo adresiranje može biti vrlo neefikasno. Na primjer, dodjela B klase jednoj akademskoj instituciji koja ima jednu ili više lokalnih računarskih mreža je besmislena.
- Rješenje ovog problema je razvijeno 1980-tih kada je usvojen koncept podmreže (subnetting) kada sa dodaje još jedan hijerarhijski nivo subnet (podmreža).
- Sjajna stvar ovog koncepta je njena transparentnost na Internetu. Naime, Internet "vidi" i dalje samo dva nivoa hijerarhije. Unutar intraneta mrežnom administratoru se ostavlja mogućnost kombinovanja veličina subnet i host polja.



Mrežni nivo 4-23

## Classful IP Adresiranje

- To znači da dodijeljena mrežna adresa može biti podijeljena na više podmreža. Tako na primjer, 172.16.1.0, 172.16.2.0 i 172.16.3.0 predstavljaju podmreže mreže 171.16.0.0.
- Adresa podmreže se dobija "posuđivanjem" bita iz dijela koji se odnosi na host i njihovo dodjeljivanje podmreži.
- Broj "posuđenih" bita iz dijela koji se odnosi na host varira i zavisi od maske podmreže (subnet mask).
- Maska podmreže ima isti format i koncepciju kao i IP adrese. Razlika je u tome što sve jedinice označavaju polja koja pripadaju mreži i podmreži, dok 0 specificiraju polje adrese koje pripada hostu.



Mrežni nivo 4-24

## Classful IP Adresiranje

U tabeli je prikazana je veza između binarne i decimalne reprezentacije maske pod mreže.

	128	64	32	16	8	4	2	1	
	1	0	0	0	0	0	0	0	128
	1	1	0	0	0	0	0	0	192
	1	1	1	0	0	0	0	0	224
	1	1	1	1	0	0	0	0	240
<input type="checkbox"/> Default maske pod mreža su:	1	1	1	1	1	0	0	0	248
<input type="checkbox"/> - 255.0.0.0 (A klasa)	1	1	1	1	1	1	0	0	252
<input type="checkbox"/> - 255.255.0.0 (B klasa)	1	1	1	1	1	1	1	0	254
<input type="checkbox"/> - 255.255.255.0 (C klasa)	1	1	1	1	1	1	1	1	255

Mrežni nivo 4-25

## Classful IP Adresiranje

172	16	125	1	zadata adresa u decimalnom formatu
10101100	00010000	01111101	00000001	zadata adresa u binarnom formatu
255	255	0	0	default maska pod mreže u decimalnom formatu
11111111	11111111	00000000	00000000	default maska pod mreže u binarnom formatu
10101100	00010000	0	0	adresa mreže u binarnom formatu
<b>172</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>adresa mreže u decimalnom formatu</b>
172	16	125	1	zadata adresa u decimalnom formatu
10101100	00010000	01111101	00000001	zadata adresa u binarnom formatu
255	255	224	0	zadata maska pod mreže u decimalnom formatu
11111111	11111111	11100000	00000000	zadata maska pod mreže u binarnom formatu
10101100	00010000	01100000	00000000	adresa pod mreže u binarnom formatu
<b>172</b>	<b>16</b>	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>adresa pod mreže u decimalnom formatu</b>

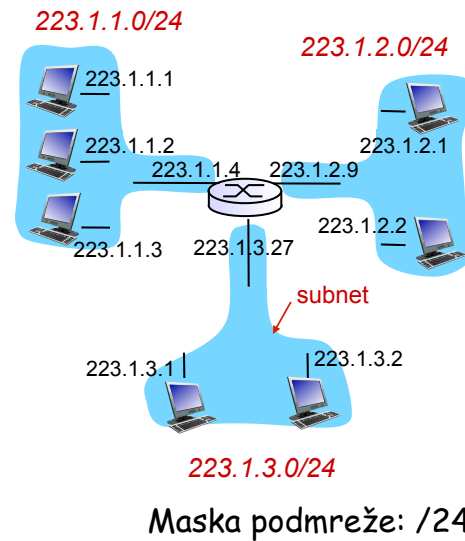
Broadcast adresa u ovoj pod mreži je 172.16.127.255 (10101100.00010000.01111111.11111111). Opseg adresa koje pripadaju ovoj pod mreži je od 172.16.96.1 (10101100.00010000.01100000.00000001) do 172.16.127.254 (10101100.00010000.01111111.11111110).

Mrežni nivo 4-26

## Podmreža

### Napomena

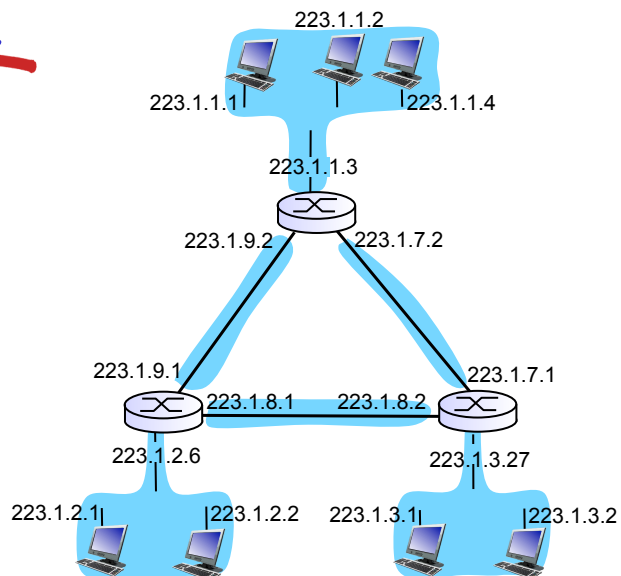
- Da bi odredili podmreže, treba razdvojiti svaki interfejs od njegovog hosta ili rutera, kreirajući ostrva izolovanih mreža. Svaka izolovana mreža se zove **podmreža**.



Mrežni nivo 4-27

## Podmreže

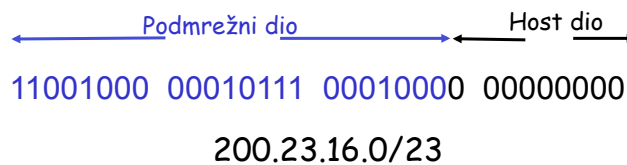
Koliko ih je?



## IP adresiranje: CIDR

### □ CIDR: Classless InterDomain Routing

- Podmrežni dio adrese je proizvoljne veličine
- Format adrese: **a.b.c.d/x**, gdje je x broj bita u mrežnom dijelu adrese



Mrežni nivo 4-29

## IP adrese: kako dobiti IP adresu?

### P: Kako *host* dobija IP adresu?

- "hard-coded" od strane sistem administratora u fajlu
  - Winl: control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties
  - UNIX: /etc/rc.config
- DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol: dinamički dobija adresu sa servera
  - "plug-and-play"

Mrežni nivo 4-30

## DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

**Cilj:** omogućiti hostu dinamičko dobijanje adresa sa mrežnog servera kada se poveže na mrežu

Može obnoviti adresu koju je već koristio

Omogućava "reuse" adresa (host zadržava adresu dok je uključen)

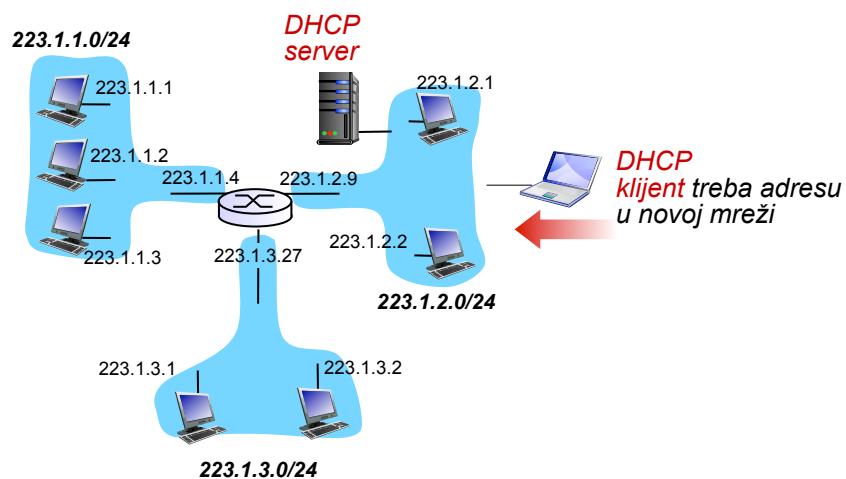
Olakšava pristup mobilnim korisnicima koji se pridružuju mreži

Pregled DHCP:

- host svima šalje "DHCP discover" poruku (UDP segment na port 67)
- DHCP server odgovara "DHCP offer" porukom
- host zahtijeva IP adresu: "DHCP request" porukom
- DHCP server šalje adresu: "DHCP ack" porukom

Mrežni nivo 4-31

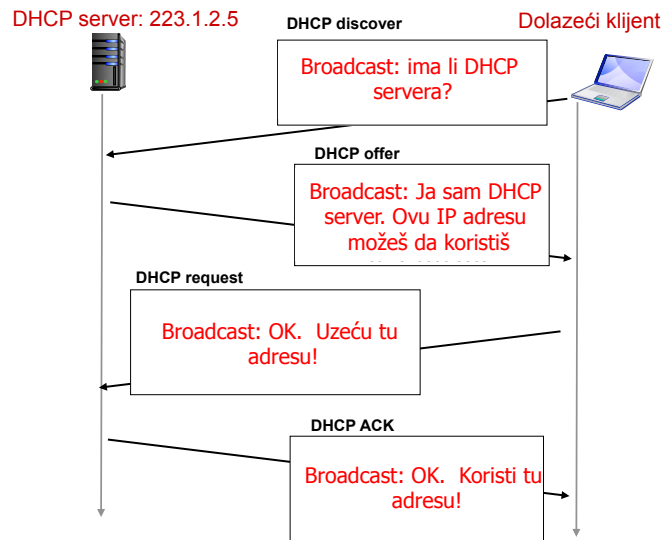
## DHCP klijent-server scenario



Mrežni nivo 4-32



## DHCP client-server scenario



Mrežni nivo 4-33

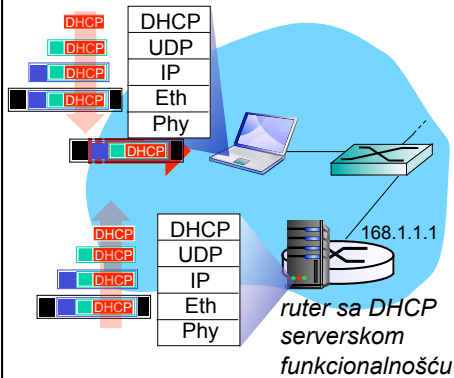
## DHCP: više od IP adrese

DHCP pored same alokacije IP adrese u podmreži obezbeđuje:

- Adresu gateway-a podmreže
- Ime i IP adresu DNS servera
- Subnet masku (indicira mrežni dio adrese)

Mrežni nivo 4-34

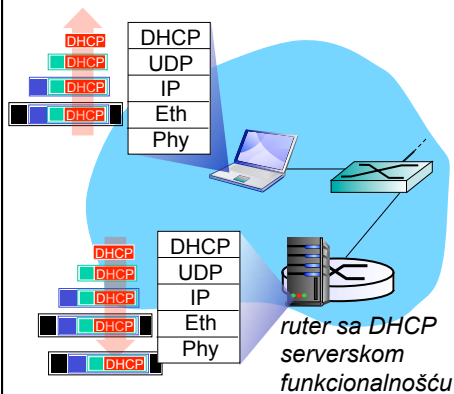
## DHCP: primjer



- Laptopu je potrebna IP adresa, adresa gateway-a, adresa DNS servera: koristi DHCP
- ❖ DHCP zahtjev se enkapsulira u UDP segment, pa u IP, datagram, pa u 802.3 Ethernet fejm
- ❖ Ethernet fejm se šalje svim (dest: FFFFFFFF) interfejsima u LAN-u i prima od strane DHCP servera
- ❖ Obavlja se suprotan proces enkapsulaciji

Mrežni nivo 4-35

## DHCP: primjer



- DHCP server kreira DHCP potvrdu koja sadrži klijentsku IP adresu, IP adresu gateway-a, ime & IP adresu DNS servera
- Frejm se prosleđuje do klijenta koji ga raspakuje
- Klijentu je poznata IP adresa, ime i IP adresa DNS servera, IP adresa gateway-a

Mrežni nivo 4-36

## IP adrese: kako dobiti IP adresu?

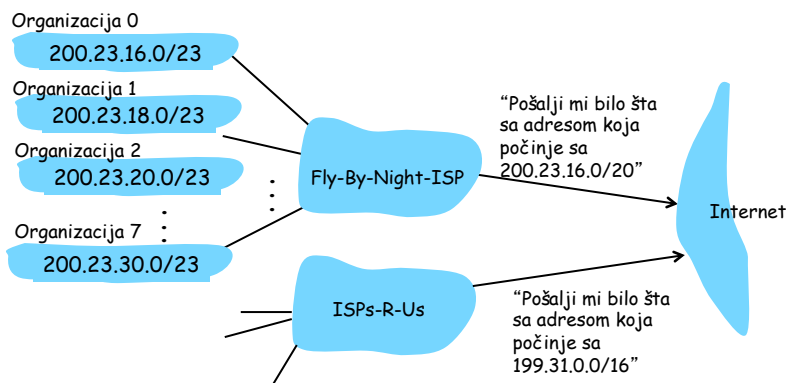
**P:** Kako mreža dobija podmrežni dio IP adrese?

ISP-ov blok	<u>11001000 00010111 00010000</u> 00000000	200.23.16.0/20
Organizacija 0	<u>11001000 00010111 00010000</u> 00000000	200.23.16.0/23
Organizacija 1	<u>11001000 00010111 00010010</u> 00000000	200.23.18.0/23
Organizacija 2	<u>11001000 00010111 00010100</u> 00000000	200.23.20.0/23
...	.....	....
Organizacija 7	<u>11001000 00010111 00011110</u> 00000000	200.23.30.0/23

Mrežni nivo 4-37

## Hijerarhijsko adresiranje: agregacija ruta

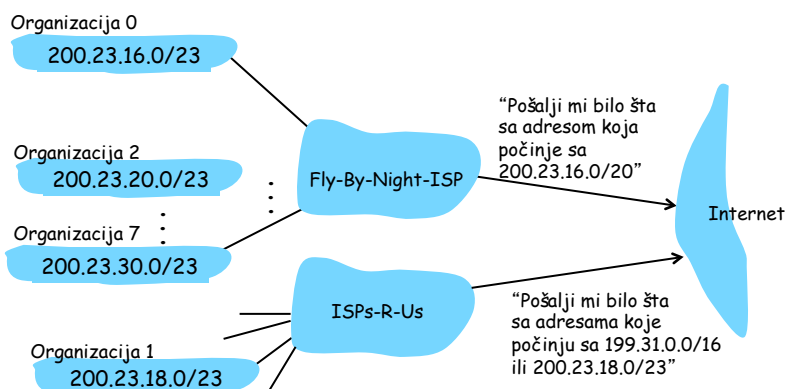
Hijerarhijsko adresiranje dozvoljava efikasno oglašavanje informacije potrebne za rutiranje:



Mrežni nivo 4-38

## Hijerarhijsko adresiranje: specifičnije rute

ISPs-R-Us ima više specifičnih ruta do Organizacije 1



Mrežni nivo 4-39

## IP adresiranje: poslednja riječ...

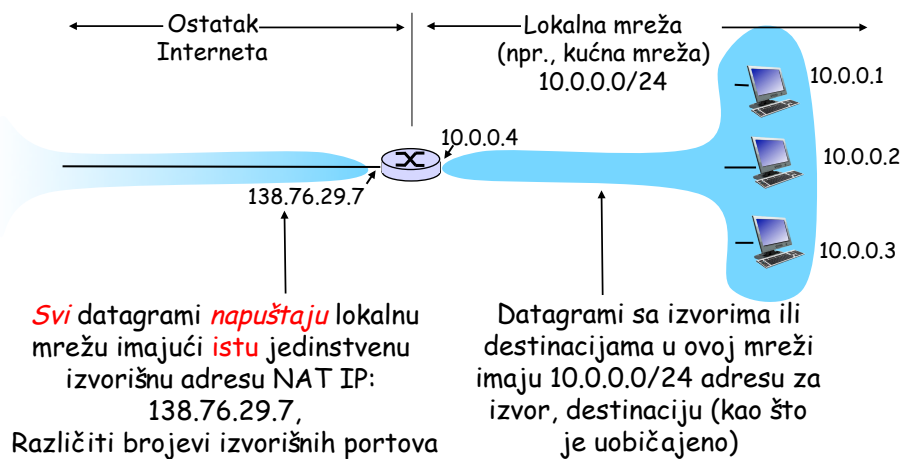
**P:** Kako ISP dobija svoj blok adresa?

**Q:** **ICANN:** Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

- Dodjeljuje adrese
- Upravlja DNS
- Dodjeljuje imena domena, razrješava sporove
- Dodjeljuje adrese lokalnim regionalnim Internet registrima (ARIN, RIPE, APNIC i LACNIC)

Mrežni nivo 4-40

## NAT: Network Address Translation



Mrežni nivo 4-41

## NAT: Network Address Translation

- **Motivacija:** lokalna mreža koristi samo jednu IP adresu:
  - Nema potrebe za dodjelu opsega adresa od strane ISP (samo jedna IP adresa se koristi za sve uređaje)
  - Mogu mijenjati adrese uređaja u lokalnim mrežama bez obavještenja "ostatku svijeta"
  - Mogu mijenjati ISP bez mijenjanja adresa uređaja u lokalnim mrežama
  - Uređaji unutar mreže se eksplicitno ne adresiraju, na vidljiv način "ostatku svijeta" (plus u smislu zaštite).

Mrežni nivo 4-42

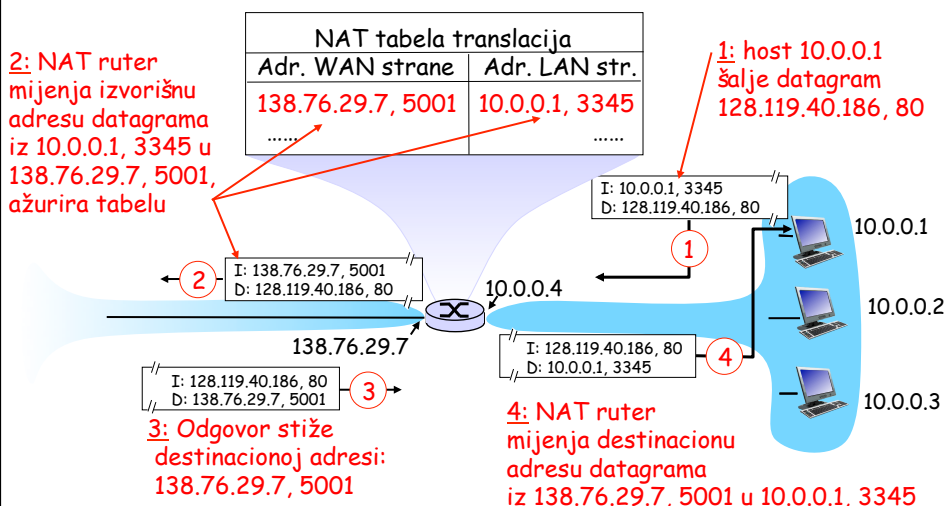
## NAT: Network Address Translation

**Implementacija:** NAT ruter mora:

- *odlazni datagrami: zamijeniti* (izvorišnu IP adresu, broj porta) svakog odlaznog datagrama sa (NAT IP adresom, novim brojem porta)  
... udaljeni klijenti/serveri će odgovoriti korišćenjem (NAT IP adrese, novi broj porta) kao adrese destinacije.
- *zapamtiti (u NAT tabeli translacija)* svaki (izvorišna IP adresa, broj porta) i (NAT IP adresa, novi broj porta) u vidu translacionog para
- *dolazeći datagrami: zamijeniti* (NAT IP adresu, novi broj porta) u polju destinacije svakog dolaznog datagrama sa odgovarajućim (izvorišna IP adresa, broj porta) smještenim u NAT tabeli

Mrežni nivo 4-43

## NAT: Network Address Translation



Mrežni nivo 4-44

## NAT: Network Address Translation

- 16-bitno polje broja porta:
  - 65536 simultanih veza sa jednom adresom sa LAN strane!
- NAT je kontraverzan:
  - Ruteri bi trebali vršiti obradu samo do nivoa 3
  - Narušava prirodu od kraja do kraja
    - NAT mora biti uzet u obzir od strane dizajnera aplikacija, npr., P2P aplikacija
  - Oskudica adresa se može ublažiti i prije upotrebe IPv6
  - Broj porta se posredno koristi za adresiranje računara

Mrežni nivo 4-45

## ICMP: Internet Control Message Protocol

- koriste hostovi, ruteri, "gateway" za prenos informacija nivoa mreže
    - obavještenje o grešci: nedostižan host, mreža, port, protokol
    - echo zahtjev/odgovor (koristi ga ping)
  - Mrežni nivo "iznad" IP:
    - ICMP poruke se nose u IP datagramima
  - ICMP poruke: tip, kod i prvih 8 bajtova IP datagrama koji je izazvao grešku
- | Tip | Kod | Opis  |
|-----|-----|---|
| 0   | 0   | echo reply (ping)                             |
| 3   | 0   | dest. network unreachable                     |
| 3   | 1   | dest host unreachable                         |
| 3   | 2   | dest protocol unreachable                     |
| 3   | 3   | dest port unreachable                         |
| 3   | 6   | dest network unknown                          |
| 3   | 7   | dest host unknown                             |
| 4   | 0   | source quench (congestion control - not used) |
| 8   | 0   | echo request (ping)                           |
| 9   | 0   | route advertisement                           |
| 10  | 0   | router discovery                              |
| 11  | 0   | TTL expired                                   |
| 12  | 0   | bad IP header                                 |

Mrežni nivo 4-46

## Traceroute i ICMP

- Izvor šalje serije UDP segmenata do destinacije
    - Prvi ima TTL =1
    - Drugi ima TTL=2, itd.
    - Nepoželjni broj porta
  - Kada n-ti datagram stigne na n-ti router:
    - ruter odbacuje datagram
    - šalje izvoru ICMP poruku (tip 11, kod 0)
    - poruka uključuje ime rutera & IP adresu
  - Kada ICMP poruka stigne, izvor izračunava RTT
  - Traceroute to ponavlja 3 puta
- Kriterijum zaustavljanja
- UDP segment eventualno stigne do destinacionog hosta
  - Destinacija vraća ICMP “port unreachable” paket (tip 3, kod 3)
  - Kada izvor dobije ovaj ICMP, zaustavlja se.

Mrežni nivo 4-47

## Glava 4: Mrežni nivo

- Principi nivoa mreže
- IPv4 (Internet Protocol)
- IPv6
- Protokoli rutiranja
- SDN

Mrežni nivo 1-48



## IPv6

- **Inicijalna motivacija:** 32-bitni adresni prostor će vrlo brzo u potpunosti biti dodijeljen.
- **Dodatna motivacija:**
  - Format zaglavlja pomaže obradi/prosleđivanju
  - Promjene zaglavlja uključuju QoS
- **IPv6 format datagrama:**
  - Zaglavlje fiksne-dužine od 40B
  - Nije dozvoljena fragmentacija

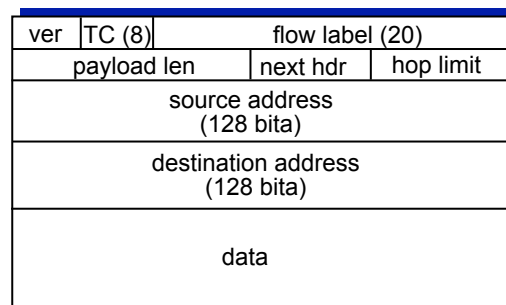
Mrežni nivo 4-49

## IPv6 zaglavlje (nastavak)

**Priority:** identifikuje prioritet između datagrama u "toku"

**Traffic class:** identifikuje datagrame u istom "toku".  
(koncept "toka" nije precizno definisan).

**Next header:** identifikuje protokola višeg nivoa za podatke



← 32 bita →

Mrežni nivo 4-50

## Druge izmjene u odnosu na IPv4

- ❑ **Checksum:** potpuno uklonjena kako bi se smanjila obrada na svakom hopu
- ❑ **Options:** dozvoljene, ali van zaglavlja, indicirano sa "Next Header" poljem
- ❑ **ICMPv6:** nova verzija ICMP
  - dodatni tipovi poruka, npr. "Packet Too Big"
  - funkcija upravljanja multicast grupama

Mrežni nivo 4-51

## IPv6 adresiranje

Format:

- ❑ RFC 4291 (Februar 2006)
- ❑ 128 bita
- ❑ Predstavlja se u vidu 8 grupa po četiri heksadecimalna broja
- ❑ X:X:X:X:X:X:X
- ❑ 111111000011010 0100001010111001 00000000000011011  
0000000000000000 0000000000000000 0001001011010000  
0000000001011011 0000011010110000
- ❑ FE1A:42B9:001B:0000:0000:12D0:005B:06B0
- ❑ FE1A:42B9:001B:0:0:12D0:005B:06B0 (grupa od četiri 0 se može prikazati jednom 0)
- ❑ FE1A:42B9:1B::12D0:5B:6B0 (više susjednih grupa od četiri 0 se prikazuje sa ::, koja se može pojaviti samo jednom)
- ❑ 2001:4C::50:0:0:741
- ❑ 2001:004C::0050:0000:0000:0741
- ❑ 2001:004C:0000:0000:0050:0000:0000:0741

Mrežni nivo 4-52

## IPv6 adresiranje

IPv6 prefiks:

- Slično kao kod IPv4: IPv6adresa/dužina prefiksa
- 200C:001b:1100:0:0:0:0:0/40 ili 200C:1b:1100::/40
- Koristi se CIDR rutiranje

Mrežni nivo 4-53

## IPv6 adresiranje

Tri tipa adresa:

- *unicast* - označava adresu jednog interfejsa na uređaju
- *multicast* - označava grupu interfejsa (uglavnom na različitim računarima) tako da paket poslat na ovu adresu stiže **do svih** adresiranih interfejsa koji pripadaju istom multicast stablu
- *anycast* - paket poslat na *anycast* adresu stiže **do jednog od interfejsa** opisanih ovom adresom (po pravilu najbližeg definisano pojmom rastojanja u protokolu rutiranja)

Nema više broadcast adrese. Njenu funkciju preuzima multicast adresa, čime se stvara mogućnost korišćenja adresa koje se sastoje od svih nula i jedinica.

Mrežni nivo 4-54

## IPv6 adresiranje

### Dodjela IPv6 adresa:

- Kombinacija alokacije i automatske dodjele.
- Prvih nekoliko bita (Format prefiks) se koriste za alokaciju adresa.

Tip adrese	Binarni prefiks	IPv6 notacija
Unspecified	00...0 (128 bita)	::/128
Loopback	00...1 (128 bita)	::1/128
Multicast	11111111	FF00::/8
Link-Local unicast	1111111010	FE80::/10
Global Unicast	(sve ostalo)	

Mrežni nivo 4-55

## IPv6 adresiranje

### Unspecified Adresa

- Adresa sa svim nulama: 0:0:0:0:0:0:0:0.
- Označava da IPv6 adresa nije definisana za interfejs. Datagrame sa ovom odredišnom adresom ne prosleđuje IPv6 ruter.

### Loopback Adresa

- IPv6 loopback adresa je 0:0:0:0:0:0:0:1.
- Njeno korišćenje je slično korišćenju IPv4 loopback adrese 127.0.0.1.

### IPv4 mapirane adrese:

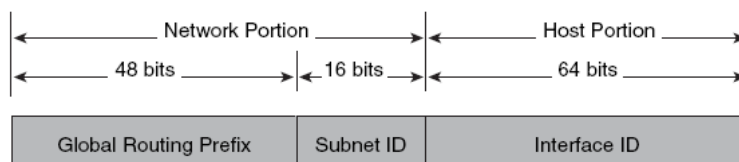
- Prvih 80 bita su nule
- Sledećih 16 bita su jedinice
- Ostalih 32 bita su jednaki bitima odgovarajuće IPv4 adrese
- 100.1.1.1 = 01100100 00000001 00000001 00000001=6401:0101
- 0000:0000:0000:0000:FFFF:6401:0101 ili
- 0:0:0:0:FFFF:6401:0101 ili
- ::FFFF:6401:0101 ili čak ::FFFF:100.1.1.1

Mrežni nivo 4-56

## IPv6 adresiranje

### IPv6 globalna adresa

- Koristi se za povezivanje na javnu mrežu.
- Ove unicast adrese su jedinstvene i na bazi njih ruteri mogu prosleđivati pakete.
- RFC 2374, RFC 3587
- Globalni prefiks rutiranja (generalno je dužine 48 bita), identifikator subneta (dužine 16 bita) i identifikator interfejsa (dužine 64 bita)



Mrežni nivo 4-57

## IPv6 adresiranje

### IPv6 link-local adresa

- Koriste se za adresiranje na jednom linku (mrežni segment bez rutera, npr. LAN).
- Značajne samo za čvorišta u okviru jedne LAN mreže.
- Ruteri ne prosleđuju pakete sa ovim izvorišnim ili odredišnim adresama van LAN-a.
- Koriste se za automatsko dodjeljivanje adresa, otkrivanje susjeda ili kada nema rutera u mreži.
- Ove adrese su identifikovane sa FE8 heksadecimalnim brojevima (10 bita) na početku.
- Konfiguriraju se automatski ili manuelno.
- 111111010 + 54 nule i 64-bitni identifikator interfejsa.
- Identifikator interfejsa se dobija automatski, komunikacijom sa drugim čvorištem na linku.

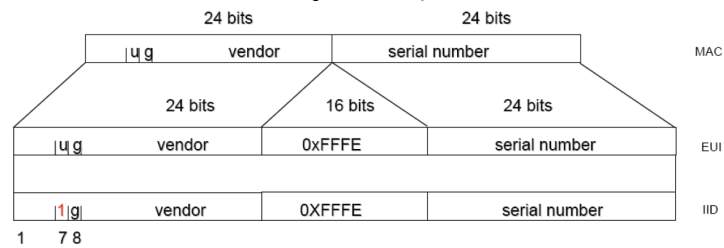


Mrežni nivo 4-58

## IPv6 adresiranje

### Identifikator interfejsa

- U modifikovanom EUI-64 formatu
- Jedinствен unutar jedne podmreže



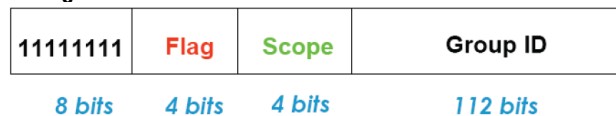
- u=1, adresa se formira na bazi MAC adrese (global scope)
- u=0, adresa se formira na slučajan način (local scope)

Mrežni nivo 4-59

## IPv6 adresiranje

### IPv6 multicast adresa

- Ista funkcija kao IPv4 multicast adresa



FF00::/8 addresses are multicast addresses

**Flag bits: 0 R P T**

**T = 0** permanent addresses (managed by IANA)

**T = 1** transient multicast addresses

• **P = 1** derived from unicast prefix (RFC3306)

• **R = 1** embedded RP addresses (I-D)

### Scope

**0** : Reserved

**1** : Interface-local

**2** : Link-local

**3** : Subnet-local

**4** : Admin-local

**5** : Site-local

**8** : Organization-local

**E** : Global

**F** : Reserved

Mrežni nivo 4-60

## Glava 4: Mrežni nivo

- Principi nivoa mreže
- IPv4 (Internet Protocol)
- IPv6
- Protokoli rutiranja
- SDN

Mrežni nivo 1-61

## Intra-AS Rutiranje

- Poznato kao **Interior Gateway Protocols (IGP)**
- Najpoznatiji Intra-AS protokoli rutiranja:
  - RIP: Routing Information Protocol
  - OSPF: Open Shortest Path First
  - IGRP: Interior Gateway Routing Protocol (vlasništvo kompanije Cisco)
  - IS-IS: Intermediate system to intermediate system

Mrežni nivo 4-62

## OSPF (Open Shortest Path First)

- ❑ Interior Gateway Protocol (IGP)
- ❑ "open": javno dostupan
- ❑ Verzija 2 (RFC 2328) iz 1998
- ❑ Verzija 3 (RFC2740) iz 1999 podržava IPv4 i IPv6
- ❑ Koristi se u velikim kompanijskim mrežama zbog brze konvergencije, rješavanja problema petlji i balansiranja saobraćaja, dok operatori koriste IS-IS koji je pogodan za stabilne mreže
- ❑ Koristi "Link State" algoritam
  - LS širenje paketa
  - Mapa topologije na svakom čvorištu
  - Proračun rute korišćenjem Dijkstra algoritma
  - Broadcast svakih 30min
- ❑ OSPF oglašavanja nose po jednu informaciju po susjednom ruteru
- ❑ Širenje oglašavanja preko **čitavog** AS ("flooding")
  - Nose se u OSPF porukama direktno preko IP ( a ne preko TCP ili UDP) pri čemu potrebne kontrole obavlja OSPF
- ❑ Radi smanjenja saobraćaja može se koristiti koncept DR (designated router) i multicast tabela.

Mrežni nivo 4-63

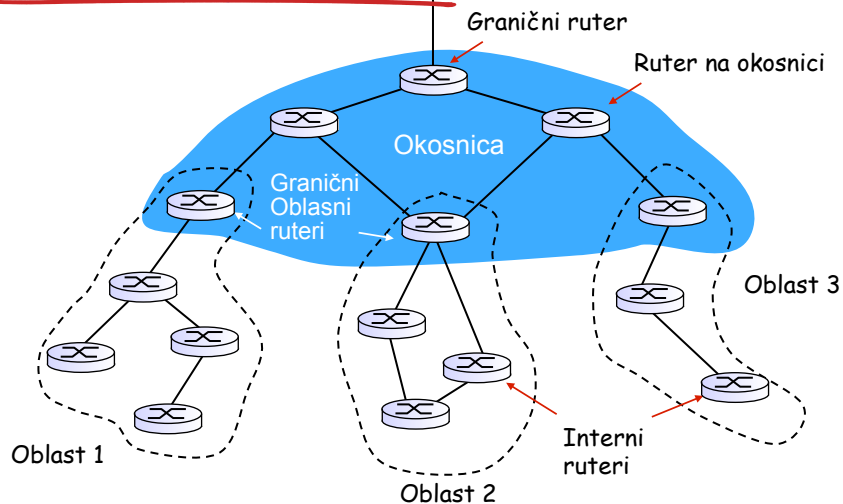
## OSPF "advanced" karakteristike (ne u RIP)

- ❑ **Sigurnost**: za sve OSPF poruke se mora znati izvor (prevencija malicioznih aktivnosti) pri čemu se koriste lozinke ili MD5 kodiranje
- ❑ **Više** puteva sa istim troškovima je dozvoljeno (samo jedan put u RIP)
- ❑ Za svaki link, više metrika troškova za različiti **TOS** (npr., troškovi satelitskog linka su podešeni na "nisko" za best effort; visoko za servis u realnom vremenu)
- ❑ Integrisana uni- i **multicast** podrška:
  - Multicast OSPF (MOSPF) koristi istu bazu podataka o topologiji kao OSPF
- ❑ **Hijerarhijski** OSPF u velikim domenima.

Mrežni nivo 4-64



## Hijerarhijski OSPF



Mrežni nivo 4-65

## Hijerarhijski OSPF

- **Hijerarhija u dva nivoa:** lokalna mreža i okosnica.
  - Oglašavanja o stanju linka samo u lokalnoj mreži
  - Svako čvorište ima detaljnu topologiju mreže; samo poznaje najkraći put do mreža u drugim mrežama.
- **Ruter na granici lokalne mreže:** “sumira” rastojanja do mreža u sopstvenoj zoni odgovornosti i to oglašava drugim ruterima na granicama lokalnih mreža.
- **Ruteri okosnice:** izvršavaju OSPF rutiranje samo na okosnici.
- **Granični ruteri:** povezivanje na druge AS.

Mrežni nivo 4-66

## IS-IS (Intermediate system to intermediate system)

- ❑ Interior Gateway Protocol (IGP)
- ❑ Koristi "Link State" algoritam
  - LS širenje paketa
  - Mapa topologije na svakom čvorištu
  - Proračun rute korišćenjem Dijkstra algoritma
- ❑ OSI referentni model (protokol mrežnog nivoa)
- ❑ Poslednjih nekoliko godina je potisnuo OSPF iz operatorskih mreža
- ❑ Multicast prenos LSA
- ❑ CIDR adresiranje
- ❑ Ne koristi usluge IP tako da je samim tim indiferentan u odnosu na verzije IP protokola
- ❑ Zbog jednostavnosti generiše manji saobraćaj od OSPF tako da je pogodan za velike mreže
- ❑ Integrated IS-IS je predložen u TCP/IP arhitekturi
- ❑ IS-IS ruter pripada samo jednoj oblasti (Level 1, Level 2 i Level1-2)
- ❑ Nema okosnice

Mrežni nivo 4-67

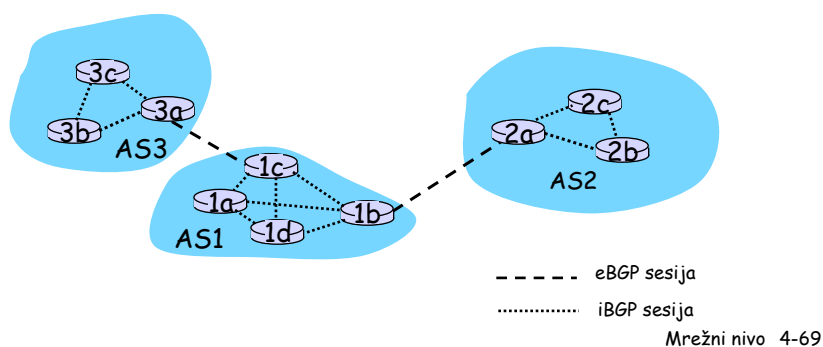
## Internet inter-AS rutiranje: BGP

- ❑ **BGP (Border Gateway Protocol):** *de facto* standard
- ❑ Verzija 4 (RFC1771) iz 1994 je doživjela preko 20 korekcija, pri čemu je zadnja RFC4271 (iz 2006)
- ❑ CIDR i agregacija ruta
- ❑ Naslijedio EGP čime je napravljena potpuna decentralizacija Interneta
- ❑ Mogu ga koristiti i kompanije kada OSPF nije dovoljno dobar i kada se radi o multihomed mreži (bolja redundansa).
- ❑ BGP omogućava svakom AS:
  1. Dobijanje informacije o dostižnosti sa susjednih AS-ova.
  2. Prosleđivanje prethodne informacije svim ruterima u okviru AS.
  3. Utvrđivanje "dobre" rute do podmreža baziranih na informaciji o dostižnosti i politici.
- ❑ Dozvoljava podmreži oglašavanje svog prisustva ostatku Interneta: "*Ovdje sam*"

Mrežni nivo 4-68

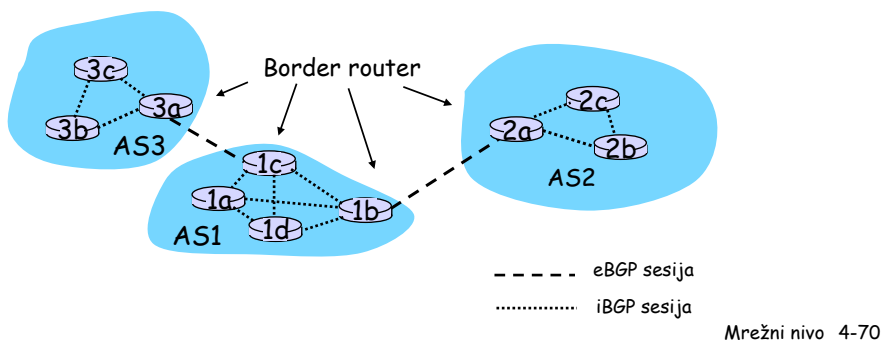
## BGP osnove

- Parovi rutera (BGP peer-ovi) razmjenjuju informaciju rutiranja preko semi-permanentne TCP konekcije (port 179): **BGP sesije**
- Svakih 60s šalje **keep alive** poruku
- **Napomena:** BGP sesije ne odgovaraju fizičkim linkovima.
- Kada AS2 oglasi prefiks do AS1, AS2 **obećava** da će proslijediti bilo koji datagram koji je adresiran do tog prefiksa preko sebe.
  - AS2 može agregirati prefikse u oglašavanjima



## Distribuirana informacija o dostižnosti

- Sa eBGP sesijom između 3a i 1c, AS3 šalje informaciju o dostižnosti prefiksa do AS1.
- 1c može tada koristiti iBGP za distribuciju ove nove informacije o dostizanju prefiksa do svih rutera u AS1
- 1b može tada ponovo oglašiti novu informaciju o dostizanju do AS2 preko 1b-2a eBGP sesije
- Kada ruter stekne znanje o novom prefiksu, kreira sadržaj za taj prefiks u tabeli rutiranja.



## Atributi puta & BGP rute

- Kada oglašava prefiks, oglašavanje uključuje BGP attribute.
  - prefix + atributi = "ruta"
- Dva važna atributa:
  - **AS-PATH**: sadrži AS-ove preko kojih je oglašavanje prefiksa prošlo: AS 67 AS 17
  - **NEXT-HOP**: Indicira specifični interni-AS ruter do next-hop AS. (Može biti više linkova od trenutne AS do next-hop-AS.)
- Kada gateway ruter primi oglašavanje rute, koristi **politiku importovanja** za potvrdu/odbijanje.

Mrežni nivo 4-71

## BGP izbor rute

- Ruter može naučiti više od jedne rute do istog prefiksa. Ruter mora odabrati rutu.
- Pravila eliminacije:
  1. Vrijednost atributa lokalne reference: odluka politike
  2. Najkraći AS-PATH
  3. Najbliži NEXT-HOP ruter: "vrući krompir" rutiranje
  4. Dodatni kriterijum

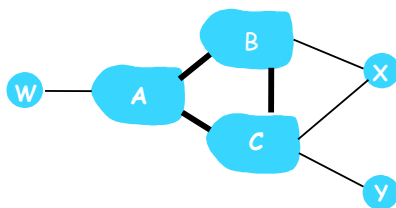
Mrežni nivo 4-72

## BGP poruke

- BGP poruke se razmjenjuju preko TCP.
- BGP poruke:
  - **OPEN**: otvara TCP vezu sa peer i vrši identifikaciju pošiljaoca
  - **UPDATE**: oglašava novi put (ili odbacuje stari)
  - **KEEPALIVE** održava vezu u odsustvu UPDATE-ova; takođe potvrđuje OPEN zahtjev
  - **NOTIFICATION**: izvještava o greškama u prethodnoj poruci; takođe se koristi za raskidanje veze

Mrežni nivo 4-73

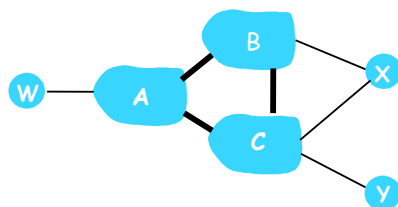
## BGP politika rutiranja



- A,B,C su **mreže provajdera**
- x,w,y su korisnici (mreža provajdera)
- x je "**dual-homed**": povezan na dvije mreže
  - x ne želi da se saobraćaj rutira od B preko x do C
  - .. tako x neće oglašavati B rutu do C

Mrežni nivo 4-74

## BGP: kontroliš ko rutira do tebe



- A oglašava B put Aw
- B oglašava X put BAw
- Dali će B oglašavati C put BAw?
  - Nema šanse! B ne dobija “profit” za rutiranje CBAw pošto w i C nisu B-ovi korisnici
  - B želi da prinudi C da rutira do w preko A
  - B želi da rutira *samo* do/od njegovih korisnika!

Mrežni nivo 4-75

## Zašto različito Intra- i Inter-AS rutiranje ?

### Politika:

- Inter-AS: administrator želi kontrolu nad načinom rutiranja saobraćaja i time ko rutira kroz njegovu mrežu.
- Intra-AS: jedan administrator, nema potrebe za političkim odlukama

### Veličina:

- hijerarhijsko rutiranje čuva veličinu tabele, smanjuje saobraćaj koji se odnosi na ažuriranje

### Performanse:

- Intra-AS: može se fokusirati na performanse
- Inter-AS: politika može dominirati u odnosu na performanse

Mrežni nivo 4-76

## Glava 4: Mrežni nivo

- Principi nivoa mreže
- IPv4 (Internet Protocol)
- IPv6
- Protokoli rutiranja
- SDN

Mrežni nivo 4-77

## Software defined networking (SDN)

- Internet mrežni nivo: distribuirani pristup
  - *monolitni* ruter sadrži komutacioni hardver, izvršava tradicionalne Internet protokole (IP, RIP, IS-IS, OSPF, BGP) u privatnim OS (npr, Cisco IOS)
  - Različiti middlebox-ovi za različite funkcije: firewall-i, balanseri opterećenja, NAT uređaji, ..
- ~2005: ponovo probuđen interes za redizajn kontrolne ravni

Mrežni nivo 4-78

## Software defined networking (SDN)

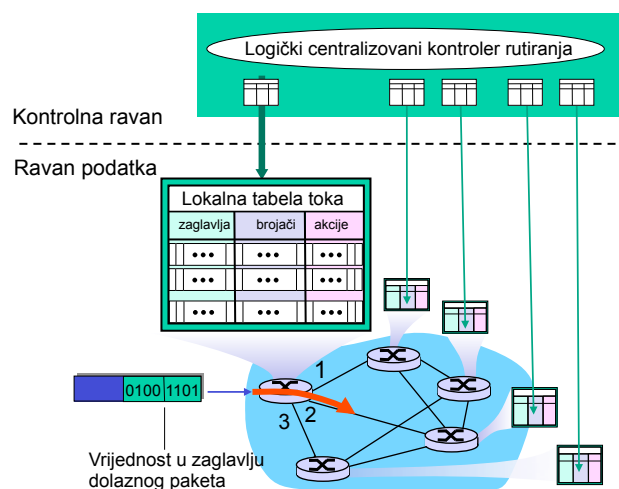
*Zašto logički centralizovana kontrolna ravan?*

- ❑ Lakše upravljanje mrežom: izbjegavanje loše konfiguracije rutera, veća fleksibilnost u manipulisanju tokovima
- ❑ Programiranje rutera
  - centralizovano "programiranje" je lakše: centralizovano izračunavanje i distribucija
  - distribuirano "programiranje" je mnogo teže: jer se algoritam za izračunavanje mora implementirati u svakom ruteru
- ❑ Otvorena implementacija kontrolna ravni

Mrežni nivo 4-79

## Generalizovano prosleđivanje i SDN

Svaki ruter sadrži *tabelu toka* koju izračunava i distribuira logički centralizovani kontroler rutiranja

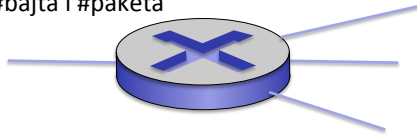


Mrežni nivo 4-80



## Apstrakcija OpenFlow ravni podataka

- *Flow (tok)*: definisan poljima zagavlja
- Generalizovano prosleđivanje: jednostavna pravila posluživanje paketa
  - *Pattern*: match vrijednostima polja zagavlja
  - *Actions for matched packet*: odbaciti, proslijediti, modifikovati, match-ovati pakete ili poslati match-ovane podatke kontroleru
  - *Priority*: ukloniti preklapajuće paterne
  - *Counters*: #bajta i #paketa

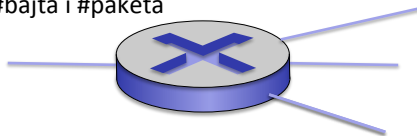


*Tabela toka u ruteru (izračunata i distribuirana od kontrolera) definiše router-ova pravila match-ovanja+akcije*

Mrežni nivo 4-81

## Apstrakcija OpenFlow ravni podataka

- *Flow (tok)*: definisan poljima zagavlja
- Generalizovano prosleđivanje: jednostavna pravila posluživanje paketa
  - *Pattern*: match vrijednostima polja zagavlja
  - *Actions for matched packet*: odbaciti, proslijediti, modifikovati, match-ovati pakete ili poslati match-ovane podatke kontroleru
  - *Priority*: ukloniti preklapajuće paterne
  - *Counters*: #bajta i #paketa

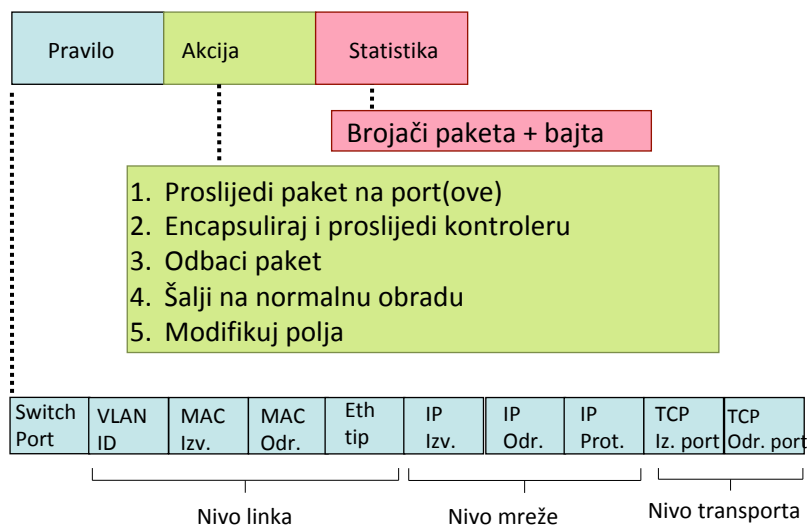


\* : wildcard

1. src=1.2.\*.\*, dest=3.4.5.\* → drop
2. src = \*.\*.\*.\*, dest=3.4.\*.\* → forward(2)
3. src=10.1.2.3, dest=\*.\*.\*.\* → send to controller

Mrežni nivo 4-82

## OpenFlow: Sadržaj tabele toka



## Primjeri

### Prosleđivanje na bazi destinacije:

Switch Port	MAC izv	MAC odr	Eth tip	VLAN ID	IP izv	IP odr	IP Prot.	TCP izv. port	TCP Odr. port	Akcija
*	*	*	*	*	*	51.6.0.8	*	*	*	port6

*IP datagrami namijenjeni IP adresi 51.6.0.8 bi trebali biti prosljeđeni na ruterov izlaz 6*

### Firewall:

Switch Port	MAC izv	MAC odr	Eth tip	VLAN ID	IP izv	IP odr	IP Prot.	TCP izv. port	TCP Odr. port	Akcija
*	*	*	*	*	*	*	*	*	22	drop

*Ne prosleđuj (blokraj) sve datagrame za TCP port 22*

Switch Port	MAC izv	MAC odr	Eth tip	VLAN ID	IP izv	IP odr	IP Prot.	TCP izv. port	TCP Odr. port	Akcija
*	*	*	*	*	128.119.1.1	*	*	*	*	drop

*Ne prosleđuj (blokraj) sve datagrame koje šalje host 128.119.1.1*

## Primjeri

### Prosleđivanje nivoa linka na bazi L2 adrese

Switch Port	MAC izv	MAC odr	Eth tip	VLAN ID	IP izv	IP odr	IP Prot.	TCP Izv. port	TCP Odr. port	Akcija
*	22:A7:23: 11:E1:02	*	*	*	*	*	*	*	*	port3

L 2 frejmove sa MAC adrese 22:A7:23:11:E1:02  
prosljediti na port 3

Mrežni nivo 4-85

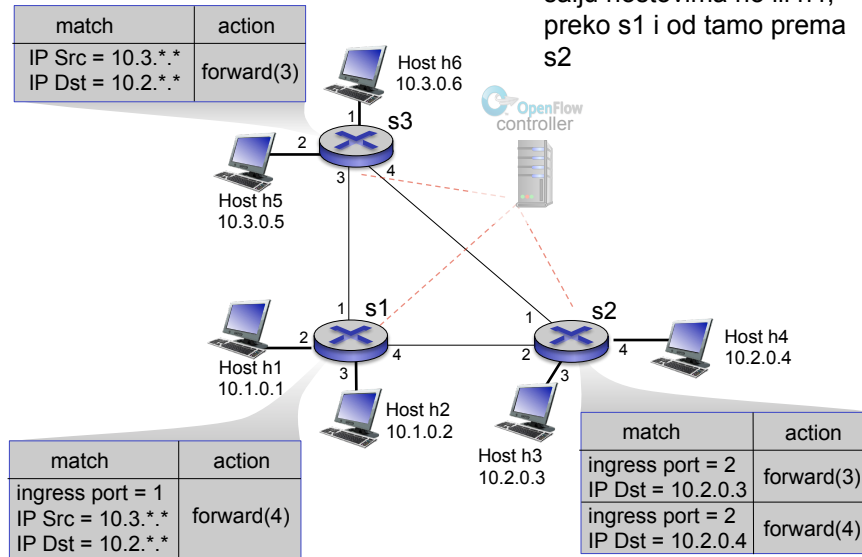
## OpenFlow apstrakcija

- **match+action:** definišu različite uređaje
- Ruter
  - **match:** najduži IP prefix destinacije
  - **action:** prosljedi na link
- Switch
  - **Match:** MAC adresa destinacije
  - **action:** prosljedi ili broadcastuj
- Firewall
  - **match:** IP adrese i brojevi TCP/UDP portova
  - **action:** dozvoli ili zabrani
- NAT
  - **match:** IP adresa i port
  - **action:** ponovo zapiši adresu i port

Mrežni nivo 4-86

## OpenFlow primjer

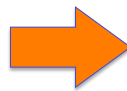
*Primjer:* datagrami sa hostova h5 i h6 treba da šalju hostovima h3 ili h4, preko s1 i od tamo prema s2



## Analogija: mainframe / PC



Vertikalno integrirani  
zatvoreni, privatni  
Spore inovacije  
Mala industrija



Otvoreni interfejs



Otvoreni Interfejs

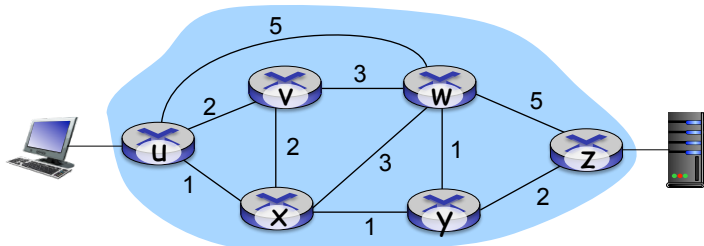


Horizontalni  
Otvoreni interfejsi  
Brze inovacije  
Velika industrija



\* Slajd: N. McKeown

## Inženjering saobraćaja: Složeno!



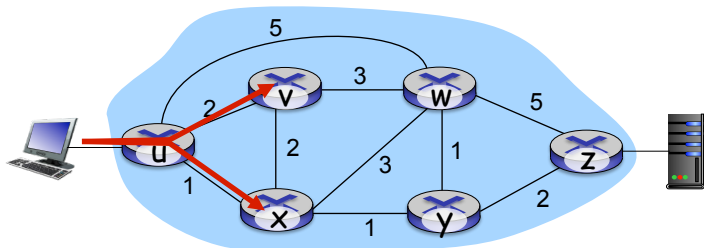
**Q:** šta ako mrežni operator želi saobraćaj od u do z da rutira preko rute  $uvwz$ , a saobraćaj od x do z preko  $xwyz$ ?

**A:** treba da definiše težinske faktore tako da algoritam rutiranja napravi odgovarajuće izračunavanje (ili treba novi algoritam rutiranja)!

*Težinski faktori su jedina "kontrolna dugmad": Pogrešno!*

Mrežni nivo 5-89

## Inženjering saobraćaja: Složeno!

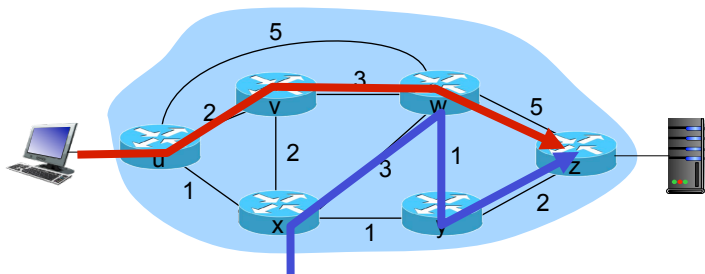


**Q:** šta ako operator želi da saobraćaj od u do z podijeli na rute  $uvwz$  i  $uxyz$  (balansiranje opterećenja)?

**A:** Ne može to uraditi (ili treba novi algoritam rutiranja)

Mrežni nivo 5-90

## Inženjering saobraćaja: Složeno!

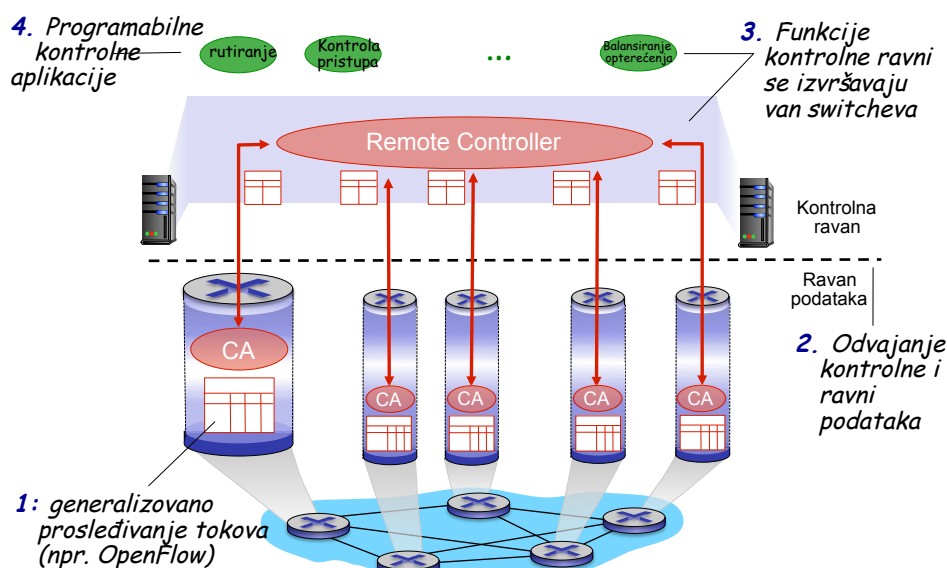


**Q:** šta ako ruter w treba da rutira plavi i crveni saobraćaj na različiti načine?

**A:** ne može to uraditi (sa prosleđivanjem na bazi adrese destinacije, i LS, DV rutiranja)

Mrežni nivo 4-91

## Software defined networking (SDN)

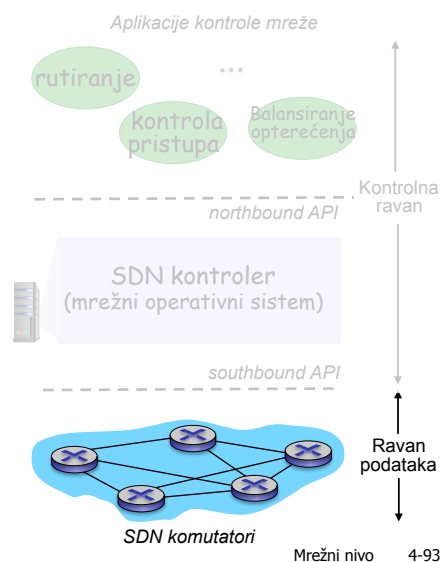


Mrežni nivo 4-92

## SDN perspektiva:

### *Komutatori ravni podataka*

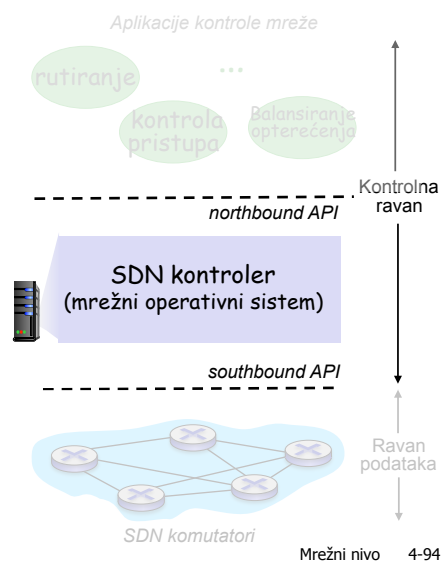
- ❑ brzi, jednostavni, implementirani u hardveru
- ❑ Tabela toka izračunata i distribuirana od kontrolera
- ❑ API za kontrolu komutatora (npr, OpenFlow)
  - Definiše šta je kontrolabilno a šta nije
- ❑ protokol za komunikaciju sa kontrolerom (npr. OpenFlow)



## SDN perspektiva: SDN kontroler

### *Mrežni OS:*

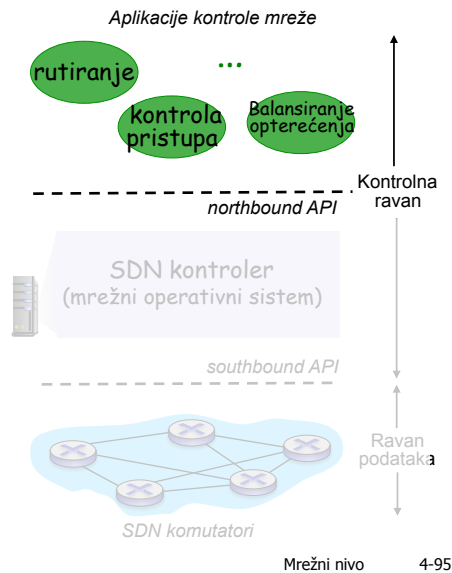
- Nadzire informacije o stanju mreže
- Interaguje sa mrežnim kontrolnim aplikacijama preko northbound API
- Interaguje sa komutatorima preko southbound API
- Implementiran kao distribuirani sistem zbog performansi, skalabilnosti, robusnosti



## SDN perspektiva:

### *Kontrolne aplikacije:*

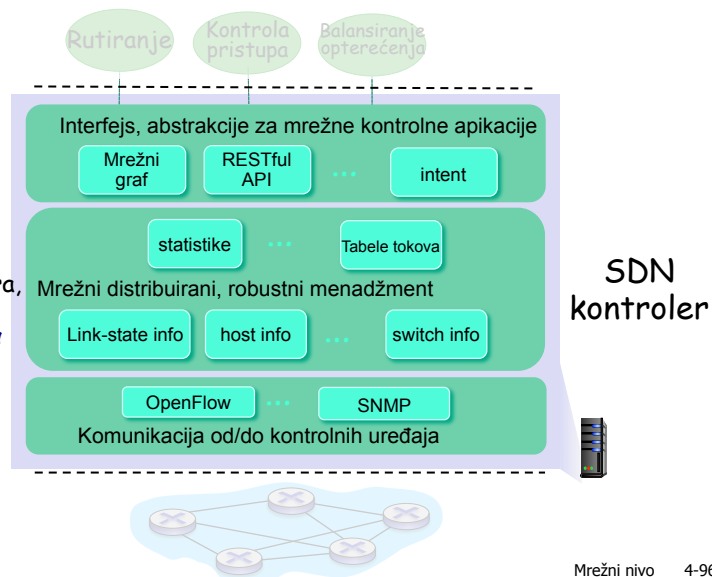
- "mozak" kontrole: implementiraju kontrolne funkcije korišćenjem servisa nižih nivoa, API nudi SND kontroler
- *Može biti realizovana od treće strane:* različite od proizvođača kontrolera i komutatora



## Komponente SDN kontrolera

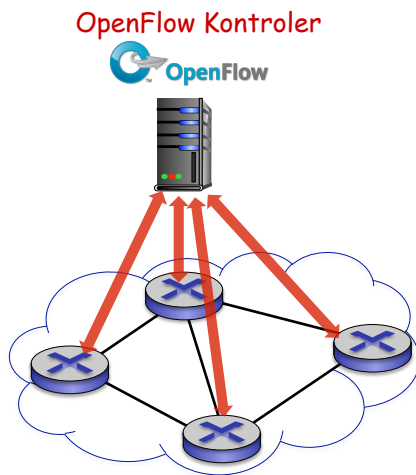
**Interface nivo prema mrežnim kontrolnim aplikacijama**  
**Nivo mrežnog menadžmenta:** stanje mrežnih linkova, komutatora, servisa;  
*distribuirana baza podataka*

**Komunikacioni nivo:** komunikacija između SDN kontrolera i kontrolisanih komutatora





# OpenFlow protokol



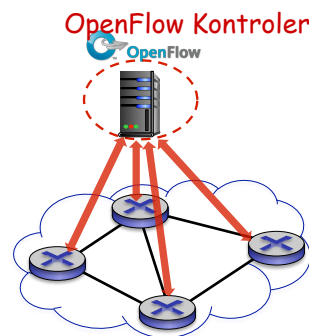
- Komunikacija kontroler – komutator
- TCP
  - Enkripcija je opcija
- 3 klase OpenFlow poruka:
  - Kontroler-komutator
  - Asinhrona (komutator – kontroler)
  - Simetrične (razne)

Mrežni nivo 4-97

## OpenFlow: kontroler-komutator poruke

### *Ključne kontroler-komutator poruke*

- **features:** kontroler ispituje osobine komutatora, komutator odgovara
- **configure:** kontroler ispituje/postavlja parametre konfiguracije komutatora
- **flow-mod:** dodaje, briše, modifikuje OpenFlow tabele
- **packet-out:** Kontroler može poslati paket na određeni port komutatora

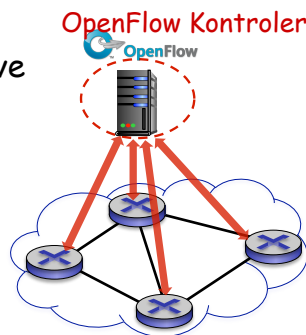


Mrežni nivo 4-98

## OpenFlow: komutator-kontroler poruke

### Ključne komutator-kontroler poruke

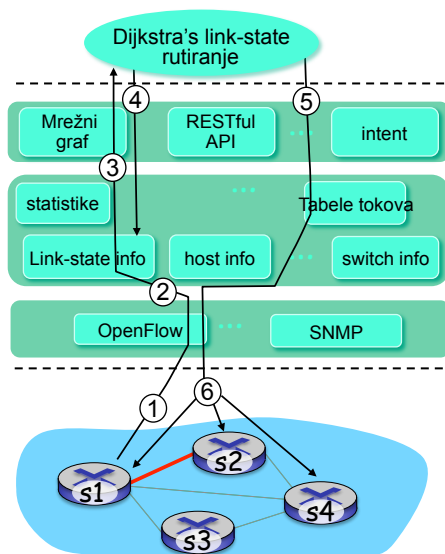
- ❑ **packet-in:** transfer paketa (i njihove kontrole) do kontrolera.
- ❑ **flow-removed:** zapis u tabeli toka komutatora se briše
- ❑ **port status:** informiše kontroler o stanju porta.



Srećom, mrežni operatori ne "programiraju" komutatore kreiranjem/slanjem OpenFlow poruka direktno. Umjesto toga koriste apstrakcije visokog nivoa na kontroleru

Mrežni nivo 4-99

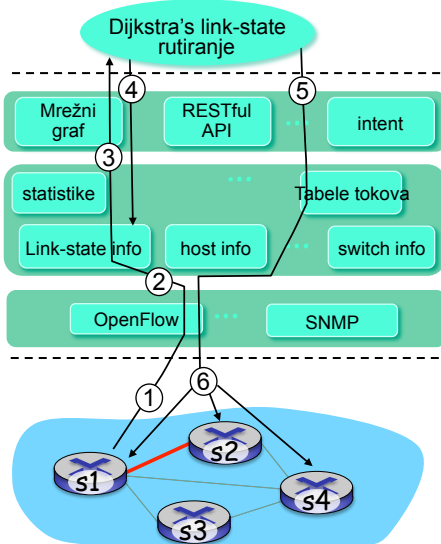
## SDN: interakcija kontrolne i ravni podataka



- ① S1, detektujući otkaz linka korišćenjem OpenFlow port status poruke obavještava SDN kontroler
- ② SDN kontroler prima OpenFlow poruku, ažurira informaciju o statusu linka
- ③ Poziva se aplikacija Dijkstra's algoritma koja registrovana da bude pozvana uvijek kada se status linka promijeni.
- ④ Dijkstra's algoritam pristupa informacijama o grafu mreže, informaciji o stanju linkova u kontroleru, izračunava nove rute

Mrežni nivo 4-100

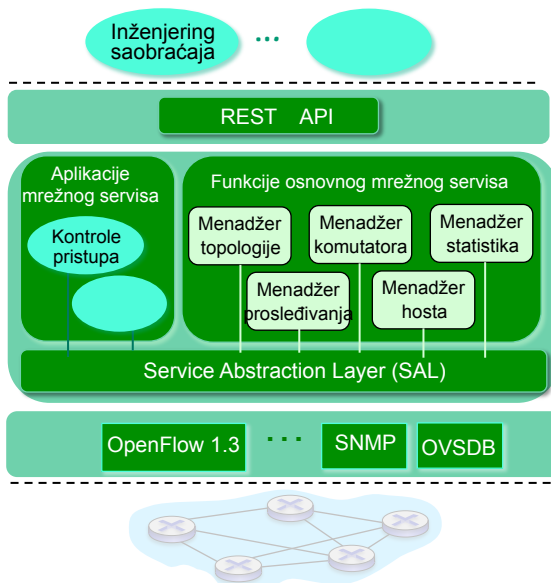
## SDN: interakcija kontrolne i ravni podataka



- ⑤ Aplikacija link state rutiranja interaguje sa komponentom za izračunavanje tabele toka u SDN kontroleru, koja izračunava nove tabele tokova
- ⑥ Kontroler koristi OpenFlow da instalira nove tabele u komutatorima ako je to potrebno

Mrežni nivo 4-101

## OpenDaylight (ODL) kontroler

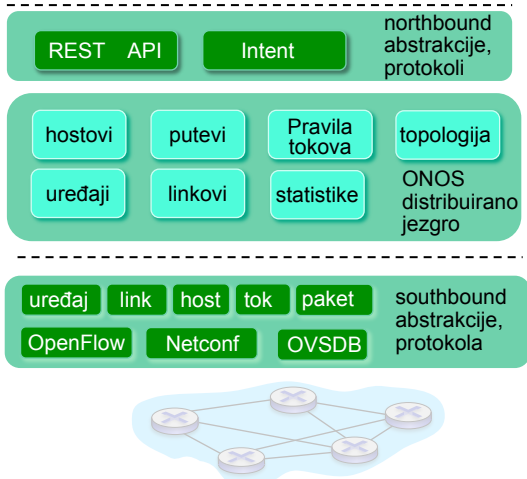


- ODL Lithium kontroler
- Mrežne aplikacije mogu se izvršavati unutar ili van SDN kontrolera
- Service Abstraction Layer: međupovezuje interne, eksterne aplikacije i servise

Mrežni nivo 4-102

## ONOS kontroler

Mrežne kontrolne apl.



- kontrolne aplikacije su odvojene od kontrolera
- željeni okvir: specifikacije servisa visokog nivoa: Šta a ne kako?
- Posebno isticanje distribuiranog jezgra: pouzdanost servisa, replikacija skaliranje performansi

Mrežni nivo 4-103

## SDN: izazovi

- Snaženje kontrolne ravni: pouzdani, visoko performantni, skalabilni i sigurni distribuirani sistem
  - Robusnost na otkaze: moćna teorija pouzdanih distribuiranih sistema za kontrolnu ravan
  - pouzdanost, zaštita: uključeni od prvog dana!
- Mreže, protokoli zadovoljavaju zahtjeve za posebne misije
  - npr., realno vrijeme, ultra-pouzdana, ultra-sigurna
- Ekspanzija Interneta

Mrežni nivo 4-104