

6. Internet protokoli

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

Telekomunikacione mreže 6-1

1

Internet protokoli

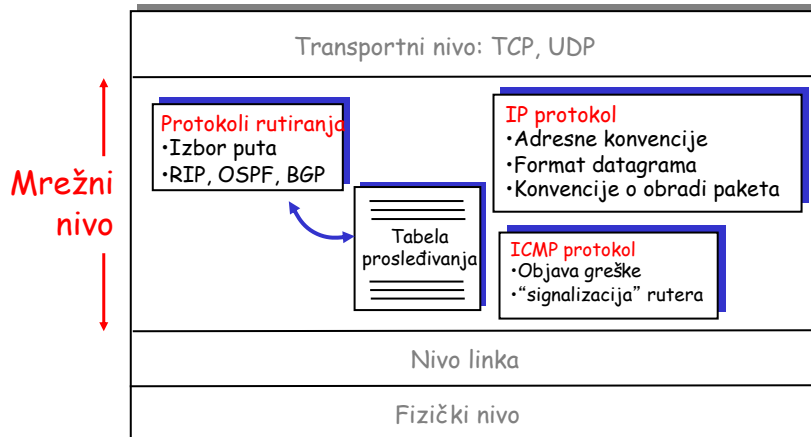
- IP (Internet Protocol)
- IP adresiranje
- IP rutiranje
- Ruter

Telekomunikacione mreže 6-2

2

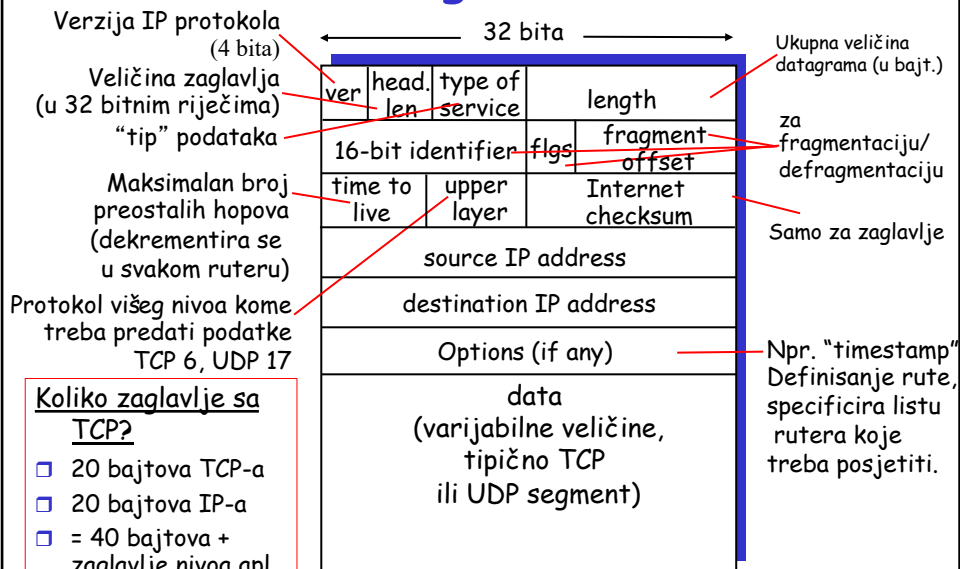
Internet protokoli

Host, ruter funkcije mrežnog nivoa:



3

Internet v4 datagram



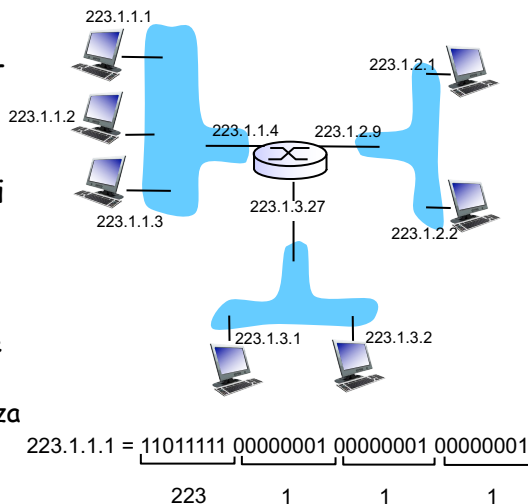
Koliko zaglavlje sa TCP?

- 20 bajtova TCP-a
- 20 bajtova IP-a
- = 40 bajtova + zaglavlje nivoa apl.

4

IPv4 adresiranje

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

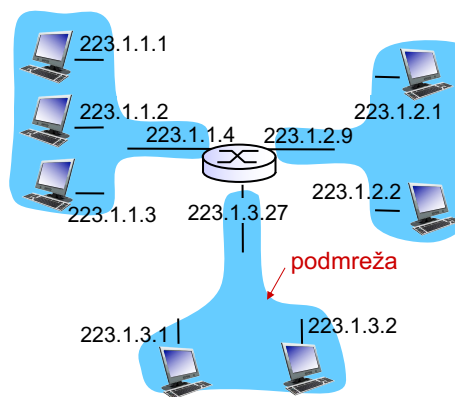


Telekomunikacione mreže 6-5

5

IPv4 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



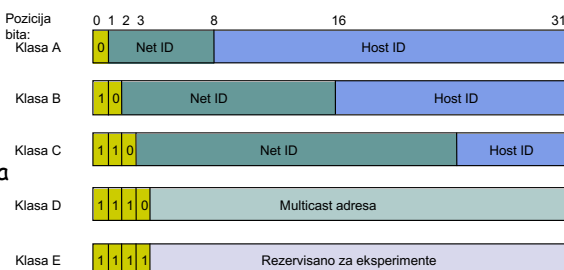
Mreža se sastoji od 3 IP podmreže (prvih 24 bita su mrežna adresa)

Telekomunikacione mreže 6-6

6

IPv4 classful 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.
- Na primjer 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.



Telekomunikacione mreže 6-7

7

IPv4 classful adresiranje

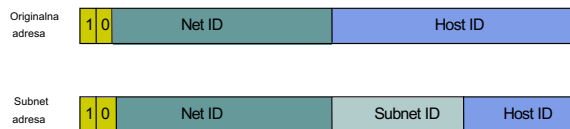
- ID koji imaju sve jedinice i sve nule imaju specijalnu namjenu.
- Host ID koji se sastoji od svih jedinica znači da se paket *broadcast*-uje svim hostovima mreže čiji je mrežni ID specificiran.
- Ako se mrežni ID sastoji od svih jedinica to znači da se paket *broadcast*-uje svim hostovima lokalne mreže.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

Telekomunikacione mreže 6-8

8

IPv4 classful 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.

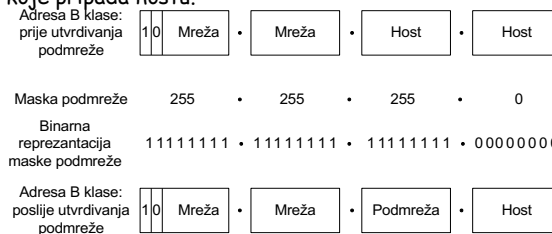


Telekomunikacione mreže 6-9

9

IPv4 classful 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.



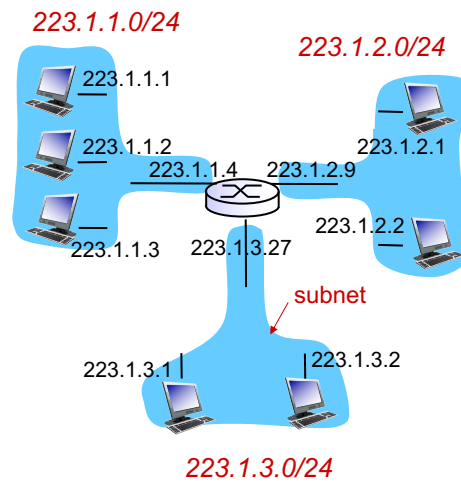
Telekomunikacione mreže 6-10

10

IPv4 classful adresiranje

Podmreža

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



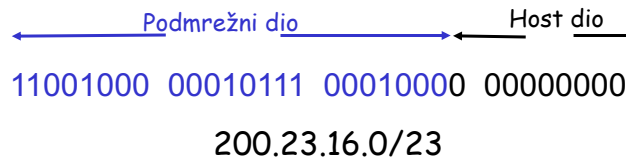
Maska podmreže: /24

Telekomunikacione mreže 6-11

11

IPv4 classless adresiranje

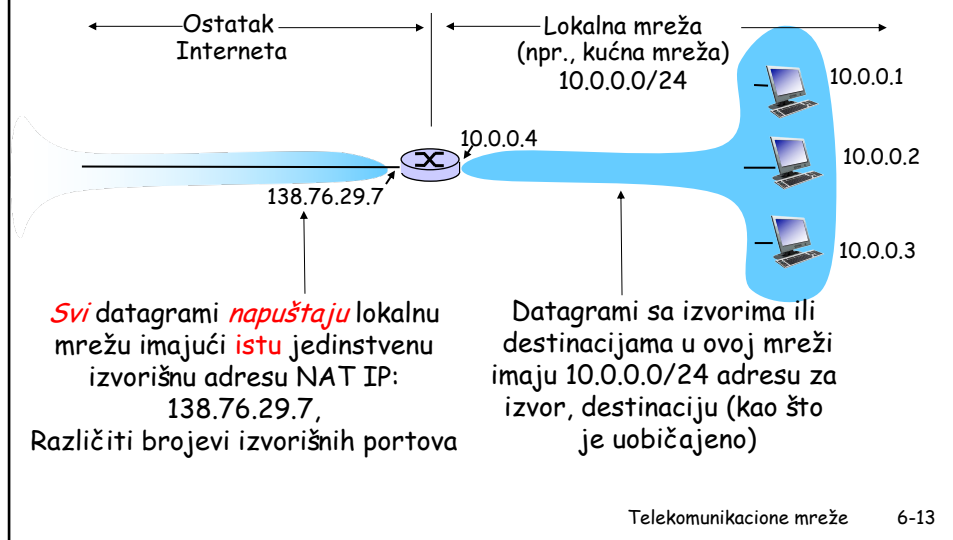
- **CIDR: Classless InterDomain Routing**
 - Podmrežni dio adrese je proizvoljne veličine
 - Format adrese: **a.b.c.d/x**, gdje je x broj bita u mrežnom dijelu adrese



Telekomunikacione mreže 6-12

12

NAT: Network Address Translation



13

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).

Telekomunikacione mreže 6-14

14

NAT: Network Address Translation

Implementacija:

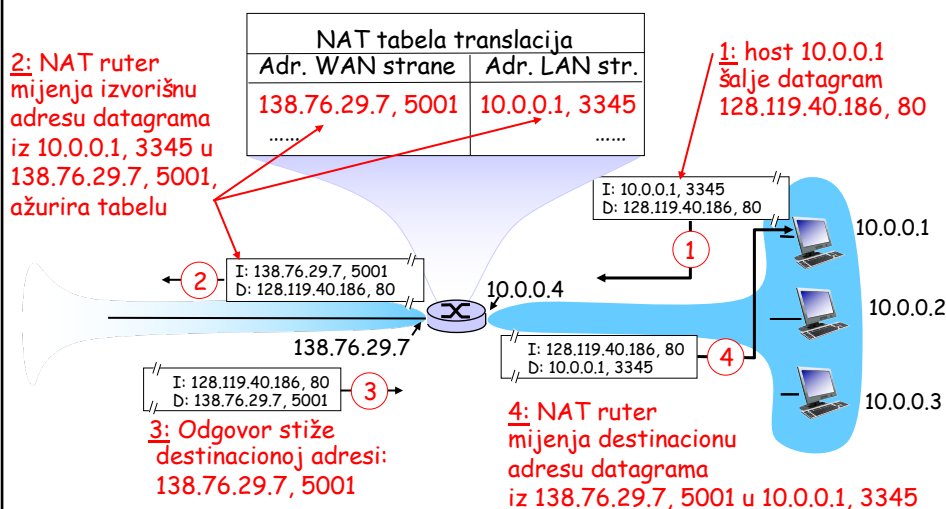
NAT ruter mora:

- *odlazni datagrami*: zamijeniti (izvorišnu IP adresu, broj port) 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

Telekomunikacione mreže 6-15

15

NAT: Network Address Translation



Telekomunikacione mreže 6-16

16

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

Telekomunikacione mreže 6-17

17

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

Telekomunikacione mreže 6-18

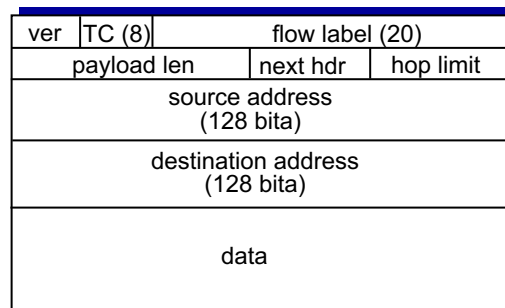
18

IPv6

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 → Telekomunikacione mreže 6-19

19

IPv6

□ **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

Telekomunikacione mreže 6-20

20

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
- ❑ 1111111000011010 0100001010111001 0000000000011011
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

Telekomunikacione mreže 6-21

21

IPv6 adresiranje

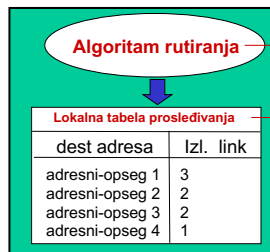
IPv6 prefiks:

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

Telekomunikacione mreže 6-22

22

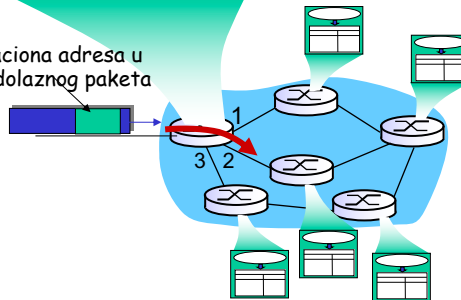
IP rutiranje



Algoritam rutiranja određuju e2e put kroz mrežu

Tabela prosleđivanja određuje lokalno prosleđivanje kroz ruter

IP destinaciona adresa u zaglavlju dolaznog paketa

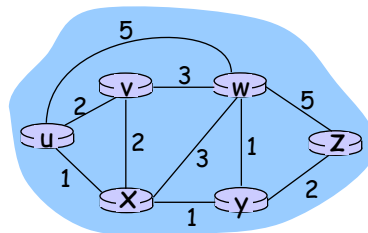


Telekomunikacione mreže 6-23

23

IP rutiranje

Abstrakcija pomoću grafa



Graf: $G = (N, E)$

$N = \text{skup rutera} = \{ u, v, w, x, y, z \}$

$E = \text{skup linkova} = \{ (u,v), (u,x), (v,x), (v,w), (x,w), (x,y), (w,y), (w,z), (y,z) \}$

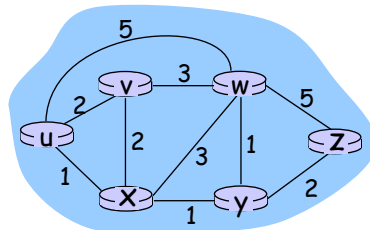
Napomena: Abstrakcija pomoću grafa je korisna i u drugim mrežnim kontekstima.

Primjer: P2P, gdje je N skup peer-ova, a E skup TCP konekcija

Telekomunikacione mreže 6-24

24

IP rutiranje



- $c(x, x')$ = težinski faktor (cost) linka (x, x')
- npr., $c(w, z) = 5$
- težinski faktor može biti uvijek 1, ili recipročan protoku, ili recipročan zagušenju

Težinski faktor puta $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p) = c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_{p-1}, x_p)$

Pitanje: Koji je put sa najmanjim težinskim faktorom između u i z ?

Algoritam rutiranja: algoritam koji pronalazi put sa najmanjim težinskim faktorom

Telekomunikacione mreže 6-25

25

Klasifikacija algoritama rutiranja

Globalna ili decentralizovana informacija?

Globalna:

- svi ruteri posjeduju kompletnu topologiju mreže sa informacijama o težinskim faktorima linkova
- "link state" algoritmi

Decentralizovani:

- ruter poznaje fizički povezane susjede i težinske faktore linkova do susjeda
- iterativni proces izračunavanja, razmjena informacija sa susjedima
- "distance vector" algoritmi

Statički ili dinamički?

Statički:

- Rute se sporo mijenjaju

Dinamički:

- Rute se mijenjaju mnogo brže
 - periodični update
 - kao odgovor na promjene težinskih faktora linkova

Telekomunikacione mreže 6-26

26

Dijkstra algoritam rutiranja

- Link state
- Mrežna topologija, težinski faktori linkova poznati svim čvorištima
 - Dobijeno preko "link state broadcast"
 - Sva čvorišta imaju istu informaciju
- Proračunava puteve najmanjih težinskih faktora od jednog čvorišta ("izvor") do svih ostalih čvorova
 - generiše tabelu rutiranja za to čvorište
- iterativni: poslije k iteracija, poznat je put sa najmanjim težinskim faktorom do k destinacija
- OSPF

Notacija:

- $c(A,B)$: težinski faktor linka od čvorišta A do B su beskonačni ukoliko čvorišta nijesu susjedi
- $D(A)$: trenutna vrijednost težinskog faktora puta od izvorišta do destinacije A
- $p(A)$: sledeće čvorište duž puta od izvorišta do čvorišta A, koje je susjed A
- N' : skup čvorišta čiji su najniži težinski faktori puta poznati

Telekomunikacione mreže 6-27

27

Dijkstra algoritam rutiranja

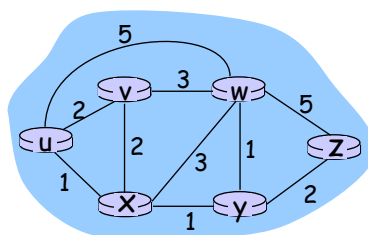
1 Inicijalizacija:

- 2 $N' = \{u\}$
- 3 Za sva čvorišta A
- 4 Ako je A susjedno čvorište u
- 5 tada $D(A) = c(u,A)$
- 6 else $D(A) = \infty$

7

8 Petlja

- 9 Pronaći B koje nije u N' tako da je $D(B)$ minimalno
- 10 dodati B skupu N'
- 11 update $D(A)$ za sve A susjede B koji nijesu u N' :
- 12 $D(A) = \min(D(A), D(B) + c(B,A))$
- 13 /* novi težinski faktori za A su ili stari težinski faktori za A ili su poznati
- 14 najmanji težinski faktori puta do B plus težinski faktori od B do A */
- 15 **dok sva čvorišta ne budu u N'**



Telekomunikacione mreže 6-28

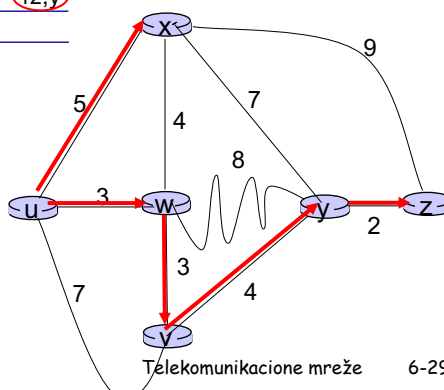
28

Dijkstra algoritam rutiranja

Step	N'					
0	u	7,u	3,u	5,u	∞	∞
1	uw	6,w	5,u	11,w	∞	
2	uwx	6,w		11,w	14,x	
3	uwxv			10,v	14,x	
4	uwxvy				12,y	
5	uwxvyz					

Napomene:

- ❖ Konstruisati najkraći put praćenjem prethodnih čvorišta
- ❖ Linkovi mogu biti prekinuti



29

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 multicasta tabele.

Telekomunikacione mreže 6-30

30

Hijerarhijsko rutiranje

Prethodna analiza je bila - idealizacija

- ❑ Svi ruteri su identični
- ❑ "flat" mreža

... *praksa je drugačija*

veličina: nekoliko stotina miliona destinacija:

- ❑ ne mogu se sve destinacije smjestiti u tabele rutiranja!
- ❑ razmjena tabela rutiranja može oboriti linkove!
- ❑ LS može izazvati potiskivanje saobraćaja na račun broadcasta tabela
- ❑ DV teško može konvergirati

administrativna autonomija

- ❑ internet = mreža svih mreža
- ❑ svaki mrežni administrator želi
 - kontrolu rutiranja u svojoj sopstvenoj mreži
 - Sakriti mrežnu organizaciju od ostalih

Telekomunikacione mreže 6-31

31

Hijerarhijsko rutiranje

- ❑ grupe rutere u regione, "autonomni sistemi" (AS)
- ❑ ruteri u istom AS izvršavaju isti protokol rutiranja
 - "intra-AS" protokol rutiranja se slično ponaša objašnjenim idealizovanim modelima
 - ruteri u različitim AS mogu izvršavati različite intra-AS protokole rutiranja

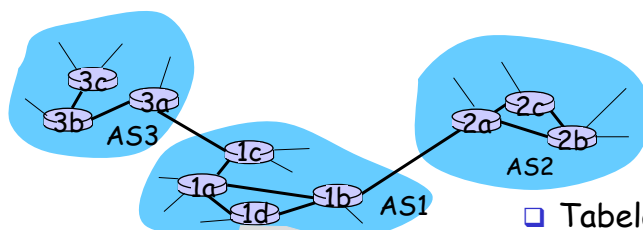
Gateway ruter

- ❑ Prosleđuje datagrame van AS

Telekomunikacione mreže 6-32

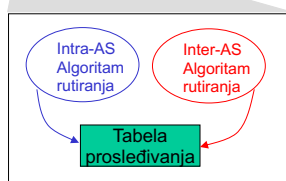
32

AS međupovezivanje



- Tabela prosleđivanja se konfigurira i sa intra- i sa-AS algoritmom rutiranja

- Intra-AS setuje sadržaje za interne destinacije
- Inter-AS & Intra-AS setuje sadržaje za eksterne destinacije



Telekomunikacione mreže 6-33

33

Internet inter-AS rutiranje: BGP

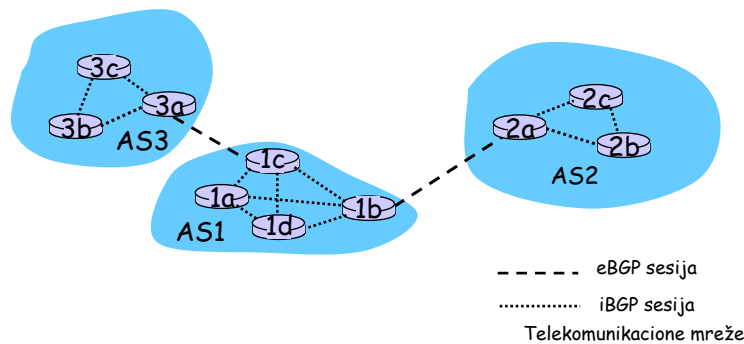
- **BGP (Border Gateway Protocol):** *de facto* standard
- Verzija 4 (RFC1771) iz 1994 je doživjela preko 20 korekcija, pri čemu je zadnja RFC4271 (iz 2006)
- CIDR i agregacija ruta
- Naslijedio EGP čime je napravljena potpuna decentralizacija Interneta
- Mogu ga koristiti i kompanije kada OSPF nije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

Telekomunikacione mreže 6-34

34

Internet inter-AS rutiranje: BGP

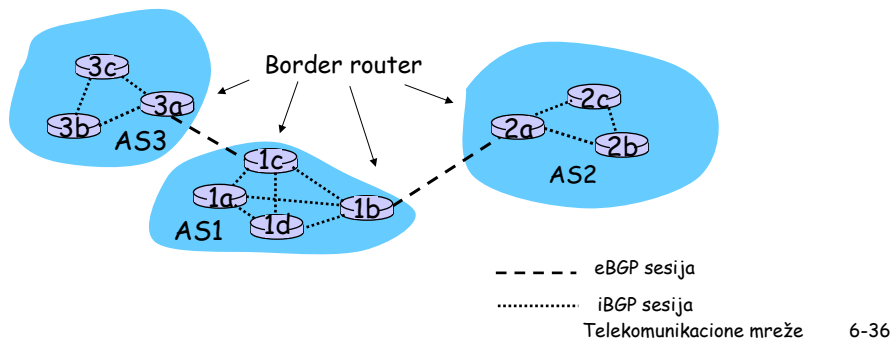
- Parovi rutera (BGP peer-ovi) razmjenjuju informaciju rutiranja preko semi-permanentne TCP konekcije (port 179): **BGP sesije**
- Svakih 60s šalje **keep alive** poruku
- **Napomena:** BGP sesije ne odgovaraju fizičkim linkovima.
- Kada AS2 oglasi prefiks do AS1, AS2 **obećava** da će proslijediti bilo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



35

Internet inter-AS rutiranje: BGP

- 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 oglasiti 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.



36

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 oglasiti 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.

