



Diplomski studij

Informacijska i komunikacijska
tehnologija:

Telekomunikacije i informatika
Obradba informacija

Komunikacijski protokoli

7.

Protokoli usmjeravanja u Internetu

Ak.g. 2012./2013.

6. 12. 2012.

n slobodno smijete:



- **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
- **remiksirati** — prerađivati djelo



n pod sljedećim uvjetima:



- **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).



- **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
- **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, prerađu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.



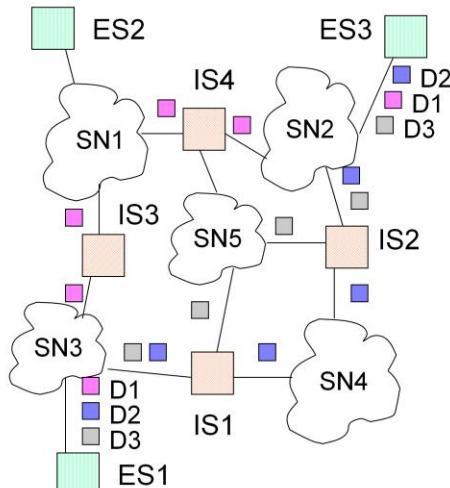
U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

- ◆ Usmjeravanje u Internetu
- ◆ Proces usmjeravanja paketa
 - načela usmjeravanja paketa
 - područje usmjeravanja
 - besklasno usmjeravanje
- ◆ Protokoli usmjeravanja
 - Routing Information Protocol (RIP)
 - Open Shortest Path First (OSPF)



Svaki datagram prolazi kroz niz IS-ova i podmreža.

Jedna od osnovnih zadaća IP protokola je usmjeravanje. Internet je **datagramska mreža**, odnosno radi na načelu komutacije paketa.

Usmjeravanje je postupak **pronalaženja puta i prosljeđivanja paketa** od izvođačnog do odredišnog čvora u mreži. Svaki paket (IP datagram) usmjerava se preko niza međusustava i podmreža na temelju odredišne adrese, neovisno o ostalima. Treba napomenuti da na ovom sloju (mrežnom) nema uspostavljanja veze s kraja na kraj.

Slika prikazuje komunikaciju između dva krajnja korisnika, ES1 i ES3. Da bi datagrami došli od početnog do krajnjeg korisnika koji su u različitim mrežama, potrebno je proći nekoliko mreža između njih, kao i nekoliko usmjeritelja koji međusobno povezuju mreže. Na slici je prikazano pet mreža, a izvođačni korisnik ES1 se nalazi u mreži SN3, dok se odredišni korisnik ES3 nalazi u mreži SN2. Recimo da ES1 šalje datagrame D1, D2 i D3. U svakom datagramu se nalazi odredišna adresa tako da se odluka o usmjeravanju donosi za svaki datagram posebno.

Prema tome, datagrami mogu putovati različitim putevima kroz mrežu i mogu doći na odredište u drugačijem redoslijedu nego kako su poslati (npr. D2, D1, D3). Međutim, mrežni sloj se ne brine o redoslijedu datograma, već mu je glavni zadatci usmjeravanje datograma, odnosno određivanje puta za pojedini datagram. O redoslijedu datograma i da li je neki datagram stigao ili ne brine se transportni sloj.

Određivanje puta i proslijedivanje paketa od izvorišnog do odredišnog čvora na temelju odredišne IP-adrese:

- ◆ ukoliko su izvorišni i odredišni čvor u istoj podmreži s dijeljenim medijem, tada komuniciraju izravno, ili
 - ◆ ukoliko su izvorišni i odredišni čvor u različitim (pod)mrežama, tada komuniciraju preko jednog ili više usmjeritelja.
-
- ◆ **Usmjeritelj (usmjernik)** – sustav koji ima najmanje dva mrežna sučelja u dvije različite mreže
 - sadrži **tablicu usmjeravanja**

Pitanje:

Kako se usmjeravaju paketi u usmjeritelju?

- ◆ **Usmjeravanje datagrama** kroz mrežu
- ◆ Protokoli usmjeravanja uključuju strategiju usmjeravanja i algoritme usmjeravanja
- ◆ Mrežni sloj TCP/IP složaja
- ◆ Usmjerava datagrame s obzirom na odredišnu IP adresu pojedinog datagrama
 - nespojna, nepotvrđena usluga dostave datagrama između mrežnih sučelja
 - svaki datagram usmjerava se neovisno o drugima, prema odredišnoj IP-adresi
 - “best effort” usluga

Protokole usmjeravanja dijelimo s obzirom na područje djelovanja:

- unutar autonomnog sustava (*Interior Gateway Protocol*),
- između autonomnih sustava (*Exterior Gateway Protocol*).

Protokoli usmjeravanja koriste određeni **algoritam usmjeravanja** koji može biti **statički** (neadaptivan) ili **dinamički** (adaptivan). Moraju biti zadovoljeni određeni zahtjevi kao što su jednostavnost, zauzimanje što manje mrežnih resursa, mogućnost samostalnog izlaza iz neregularnih stanja, itd.

Kada usmjeritelj dobije paket, mora ga proslijediti sljedećem usmjeritelju. Dakle, mora imati informacije o ostalim usmjeriteljima i računalima na Internetu koje su zapisane u tablicama usmjeravanja.

Tablicu usmjeravanja koju posjeduje svaki usmjeritelj potrebno je stalno ažurirati, budući da u mreži dolazi do promjena u topologiji. Na osnovu podataka u tablicama usmjeravanja, za svaki datagram potrebno je odabratи **optimalni** put i proslijediti ga po odabranom putu prema sljedećem usmjeritelju. Optimalnost puta određuje se s obzirom na kašnjenje, udaljenost, cijenu i ostale parametre.

Usmjeritelj mora biti u mogućnosti djelovati ako dođe do nekakve greške u mreži. U slučaju greške šalje odgovarajuću ICMP poruku. Mogući slučajevi su: nepoznata odredišna mreža IP paketa, zagušenje u mreži ili TTL paketa je jednak 0.

- ◆ Zadaće:

- Prihvati nadolazeći datagram, provjeriti zaštitnu sumu i pogledati odredišnu IP adresu i
- na temelju adrese odrediti i proslijediti ga na odgovarajuću mrežu, odnosno uputiti ga sljedećem usmjeritelju (*next hop*).

- ◆ Predajni IP proces radi sljedeće:

- prima podatke, odredišnu adresu i druge parametre od protokola više razine, npr. TCP,
- stvara zaglavje datagrama, postavlja ga ispred podataka i određuje adresu čvora na putu prema odredišnom čvoru kojem će usmjeriti datagram i prosljeđuje podatke prijenosnoj mreži.

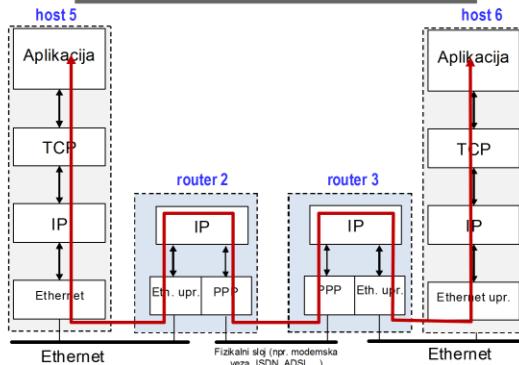
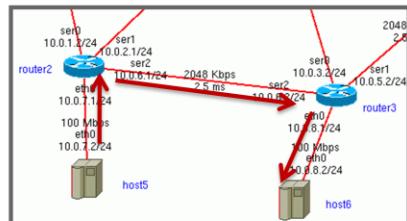
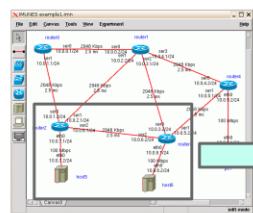
Uloga usmjeritelja (3)



◆ Prijamni proces:

- prima datagram od prijenosne mreže, provjerava zaštitnu sumu i ako ne otkrije pogrešku nastavlja obradu datagrama,
- odbacuje zaglavlje i isporučuje podatke protokolu više razine.

Usmjeravanje paketa s kraja na kraj mreže



Komunikacijski protokoli

6. 12. 2012.

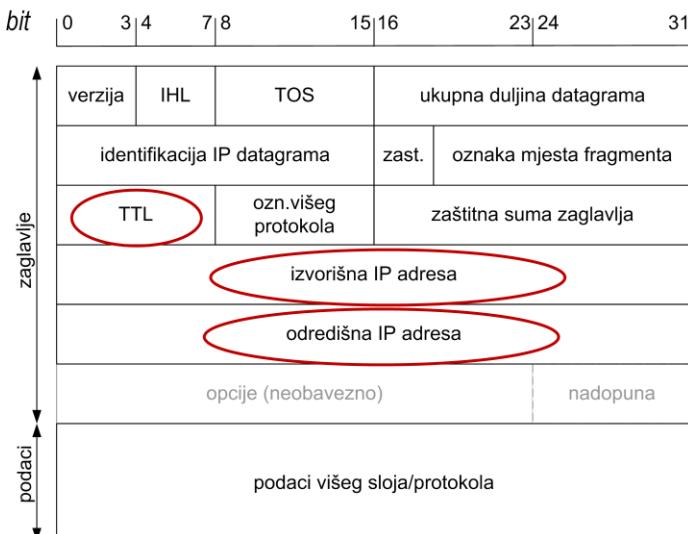
9 od 56

Načela usmjeravanja paketa



- ◆ Osnovna upravljačka informacija (u zaglavlju paketa):
 - ◆ izvorišna adresa (source address)
 - ◆ odredišna adresa (destination address)
 - ◆ ograničenje broja skokova na putu (TTL, hop limit)
- ◆ Područje usmjeravanja
 - ◆ usmjeravanje unutar autonomnog sustava
 - ◆ usmjeravanje između autonomnih sustava

Format IP zaglavlja – polja važna za usmjeravanje



- ◆ Classless Inter-Domain Routing – CIDR (RFC 4632)
 - odredišna IP adresa se određuje na temelju mrežnog prefiksa
 - putevi usmjeravanja ne agregiraju prema klasama adresa, već prema mrežnom prefiksnu
 - duljina mrežnog dijela (Net ID) se označava **mrežnim prefiksom** iza adrese
 - primjer: 195.24.0.0/13 – prvih 13 bitova određuju adresu podmreže
 - veličina mrežnog dijela adrese može biti proizvoljna
 - dopušta agregiranje prefiksa kod usmjeravanja ("supernetting")
- ◆ Prednosti:
 - efikasnije iskorištenje adresnog prostora
 - unapređenje upravljanja tablicom usmjeravanja (manje tablice usmjeravanja)
- ◆ Nedostatak:
 - složenost

RFC 4632

Classless Inter-domain Routing (CIDR): The Internet Address Assignment and Aggregation Plan
Aug 2006

Tablica usmjeravanja



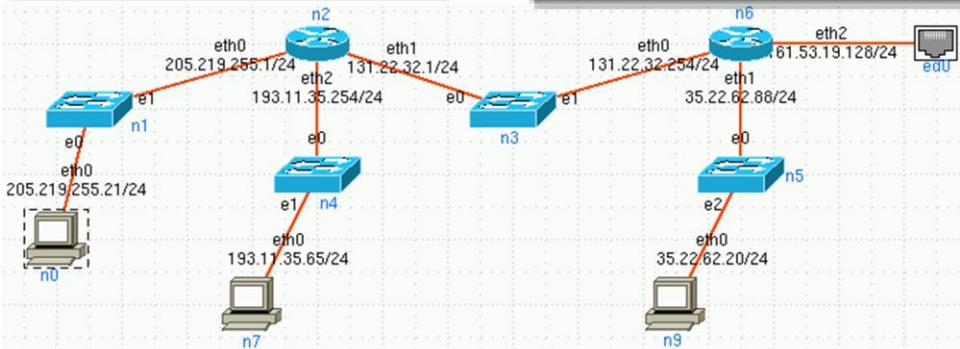
- ◆ Tablica usmjeravanja = informacije koje usmjeritelji ima o topologiji mreže
 - ◆ služi za odluku o odlaznom mrežnom sučelju za zadanu odredišnu IP adresu
- ◆ Unosi u tablici sadrže:
 - ◆ odredišnu adresu i adresu prvog sljedećeg usmjeritelja na putu ka odredištu
 - *prepostavljeni put (default)* – poseban unos koji se primjenjuje ako nema određenijeg puta

| Destination | Gateway | Netif |
|------------------|-------------------|-------|
| default | 131.22.32.254 | eth1 |
| 127.0.0.1 | 127.0.0.1 | lo0 |
| 131.22.32.0/24 | link#3 | eth1 |
| 131.22.32.254 | 40:00:aa:aa:00:04 | eth1 |
| 193.11.35.0/24 | link#4 | eth2 |
| 205.219.255.0/24 | link#2 | eth0 |
| 224.0.0.0/4 | 127.0.0.1 | lo0 |

Primjer tablice usmjeravanja

| Destination | Gateway | Netif |
|------------------|-------------------|-------|
| default | 131.22.32.254 | eth1 |
| 127.0.0.1 | 127.0.0.1 | lo0 |
| 131.22.32.0/24 | link#3 | eth1 |
| 131.22.32.254 | 40:00:aa:aa:00:04 | eth1 |
| 193.11.35.0/24 | link#4 | eth2 |
| 205.219.255.0/24 | link#2 | eth0 |
| 224.0.0.0/4 | 127.0.0.1 | lo0 |

| Destination | Gateway | Netif |
|------------------|-------------------|-------|
| default | 161.53.19.1 | eth2 |
| 35.22.62.0/24 | link#3 | eth1 |
| 127.0.0.1 | 127.0.0.1 | lo0 |
| 131.22.32.0/24 | link#2 | eth0 |
| 131.22.32.1 | link#2 | eth0 |
| 161.53.19.0/24 | link#4 | eth2 |
| 161.53.19.1 | 00:09:b7:6a:c2:ff | eth2 |
| 193.11.35.0/24 | 131.22.32.1 | eth0 |
| 205.219.255.0/24 | 131.22.32.1 | eth0 |
| 224.0.0.0/4 | 127.0.0.1 | lo0 |

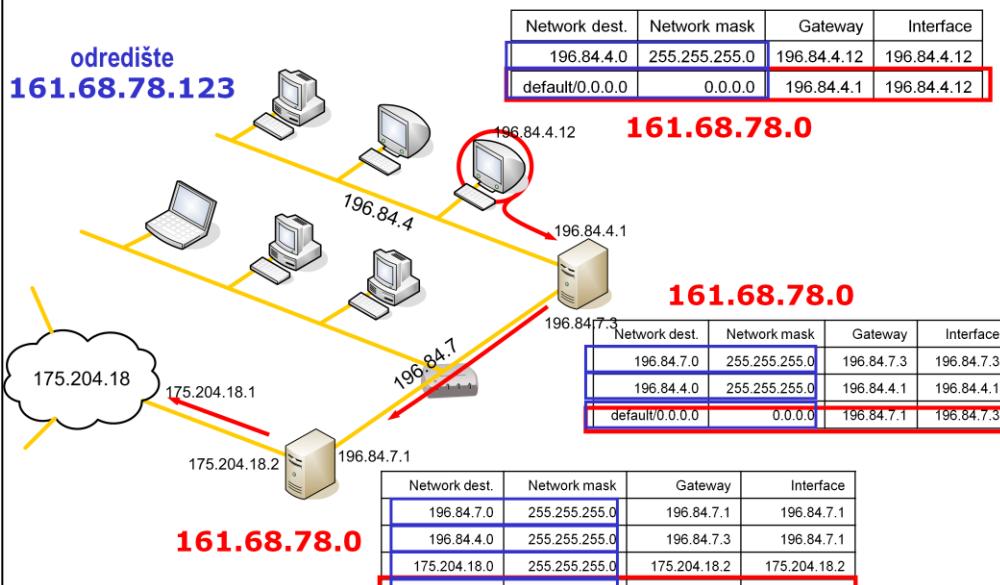


Upravljanje tablicom usmjeravanja



- ◆ Protokoli usmjeravanja izvedeni su u usmjeriteljima, a uključuju strategiju usmjeravanja i algoritme usmjeravanja
- ◆ Svaki usmjeritelj održava svoju tablicu usmjeravanja
 - čuva popis mreža na koje je izravno spojen preko svojih sučelja
 - razmjenjuje informacije o usmjeravanju s drugim usmjeriteljima (odredišta za koja oni znaju put)
 - ažurira tablicu usmjeravanja na temelju:
 - informacija prikupljenih s vlastitih sučelja
 - znanja skupljenog razmjenom informacija s drugim usmjeriteljima putem poruka
 - protokol usmjeravanja definira oblik i sadržaj poruka koje se razmjenjuju
- Na osnovu podataka u tablici usmjeravanja, usmjeritelj za svaki datagram bira put i proslijeđuje datagram po odabranom putu prema sljedećem usmjeritelju

Primjer usmjeravanja (1)

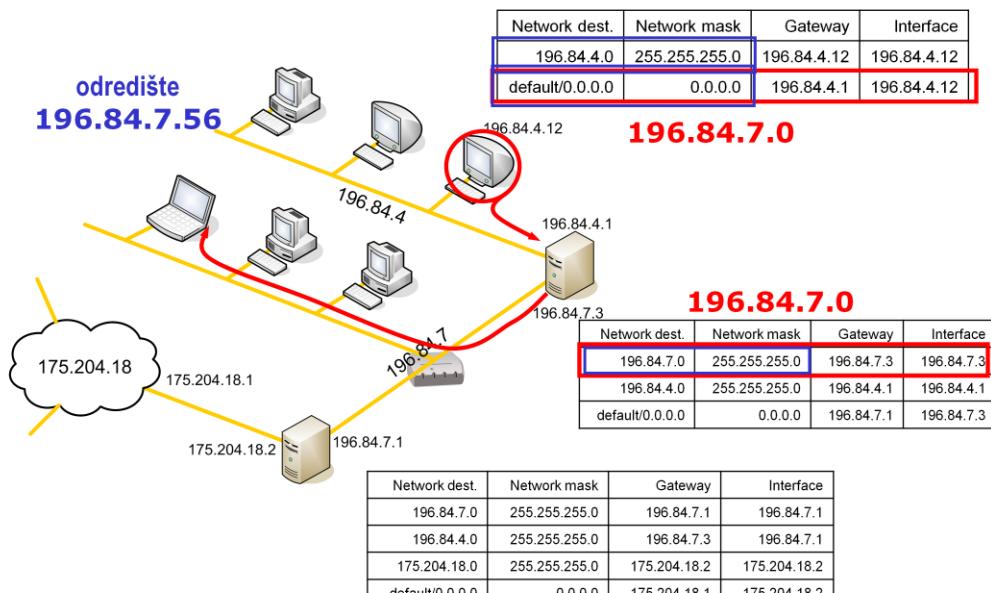


Komunikacijski protokoli

6. 12. 2012.

16 od 56

Primjer usmjeravanja (2)



Komunikacijski protokoli

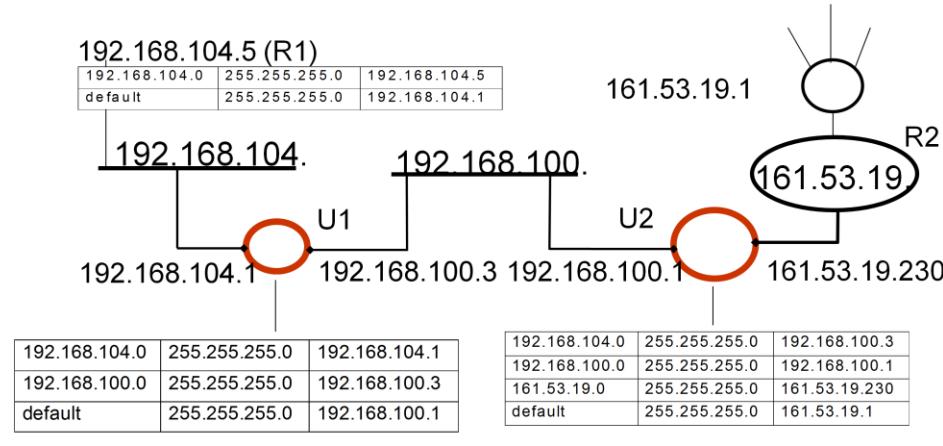
6. 12. 2012.

17 od 56

Primjer za vježbu (1)



Računalo s IP adresom **192.168.104.5** (R1) želi poslati podatke računalu s IP adresom **161.53.19.10**. Opišite postupak usmjeravanja!



Komunikacijski protokoli

6. 12. 2012.

18 od 56

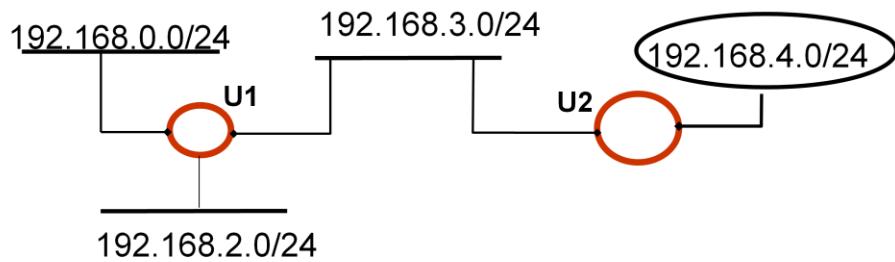
Rješenje:

Datagrami trebaju proći kroz nekoliko različitih podmreža kako bi došli do odredišta, dakle moraju proći nekoliko usmjeritelja. Svako računalo ima svoju lokalnu tablicu usmjeravanja i provjerava da li se određeno računalo nalazi u lokalnoj mreži, dakle na određenu adresu primijeni masku podmreže (**161.53.19.10 & 255.255.255.0**) i kao rezultat dobije da se radi o podmreži s IP adresom **161.53.19.0**. Budući da se u tablici usmjeravanja ne nalazi podatak o određenoj mreži, šalje datagram na tzv. *default* rutu, u našem slučaju na lokalni usmjeritelj s adresom **192.168.104.1**. Lokalni usmjeritelj također primjenjuje masku podmreže koja mu je zapisana u tablici usmjeravanja i dobiva rezultat koji uspoređuje sa svojom tablicom. Kako ni on nema informacije o određenoj mreži, šalje datagram svojom *default* rutom, prema usmjeritelju **192.168.100.1**. Ovaj usmjeritelj prihvata datagram, primjeni svoju masku podmreže i provjerava tablicu usmjeravanja. Kako on ima informaciju o odredištu, šalje datagram na priključnu točku (port) s adresom **161.53.19.230**, dakle u lokalnu mrežu u kojoj se nalazi određeno računalo s adresom **161.53.19.10** koje tada prima datagram. Time je završen proces usmjeravanja datagrama od izvorišnog do određenog računala. Dakle, svaki usmjeritelj mora imati najmanje dva mrežna sučelja, odnosno dvije IP adrese kako bi mogao obavljati svoju funkciju.

Primjer za vježbu (2)



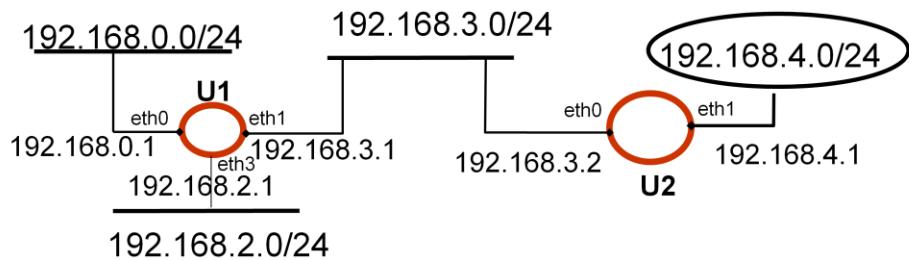
Izradite tablice usmjerenja za usmjeritelje U1 i U2 za mrežu na slici!



Primjer za vježbu (2)



Postavljanje oznaka mreže



Primjer za vježbu (2)



Definiranje tablica usmjeravanja



| Mreža | Sljedeći skok | Sučelje |
|----------------|---------------|---------|
| 192.168.0.0/24 | | eth0 |
| 192.168.3.0/24 | | eth1 |
| 192.168.2.0/24 | | eth3 |
| 192.168.4.0/24 | 192.168.3.2 | eth1 |
| default | 192.168.3.2 | eth1 |

| Mreža | Sljedeći skok | Sučelje |
|----------------|---------------|---------|
| 192.168.3.0/24 | | eth0 |
| 192.168.4.0/24 | | eth1 |
| 192.168.2.0/24 | 192.168.3.1 | eth0 |
| 192.168.0.0/24 | 192.168.3.1 | eth0 |
| default | 192.168.3.1 | eth0 |

Komunikacijski protokoli

6. 12. 2012.

21 od 56

Zadatak za vježbu:

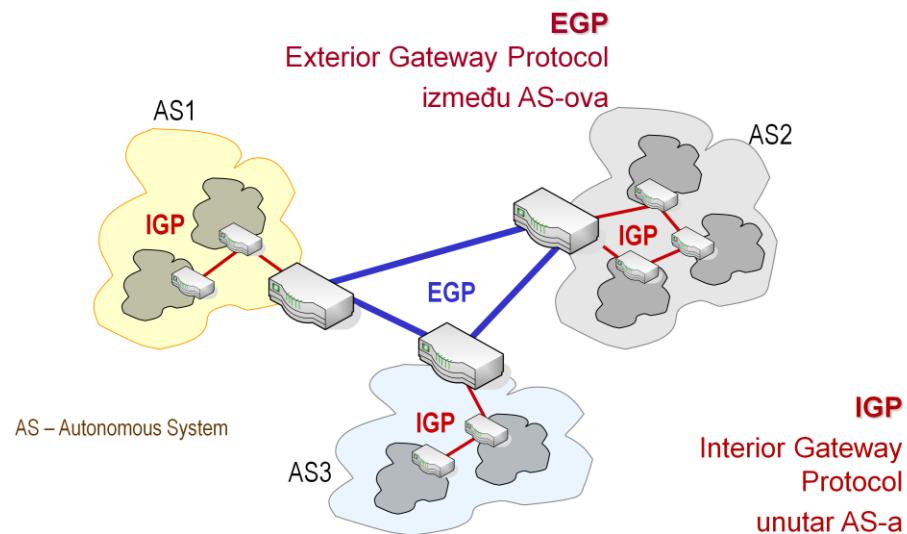
Na svom računalu spojenom na Internet (PC-u s operacijskim sustavom Windows) u komandnoj liniji (cmd) naredbom *route print* ili *netstat -r* ispišite i analizirajte tablicu usmjeravanja za protokole IPv4 i IPv6.

Koje se naredbe koriste za promjenu, dodavanje i brisanje rute u tablici usmjeravanja na računalu?

Dodajte usmjeritelje u mrežu 192.168.2.0/24 i 192.168.3.0/24 na slici i definirajte njihove tablice usmjeravanja.

- ◆ Protokoli usmjeravanja izvedeni su u usmjeriteljima, a uključuju strategiju usmjeravanja i algoritme usmjeravanja
- ◆ Proces usmjeravanja:
 - prikuplja znanje o ostalim usmjeriteljima i računalima na Internetu
 - ažurira i pohranjuje podatke o topologiji mreže i/ili stanju putova u **tablice usmjeravanja**
 - na osnovu podataka u tablicama usmjeravanja, za svaki datagram bira put i prosljeđuje ga po odabranom putu prema sljedećem usmjeritelju

Klasifikacija protokola usmjeravanja



IGP protokoli: -> danas!

- ◆ Routing Information Protocol (RIPv2)
 - ◆ temelji se na (dinamičkom) algoritmu vektora udaljenosti
- Open Shortest Path First Protocol (OSPFv2)
 - ◆ temelji se na (dinamičkom) algoritmu stanja poveznice

EGP protokol (u praksi, samo jedan!): -> sljedeće predavanje

- ◆ Border Gateway Protocol (BGPv4)
 - ◆ algoritam vektora puta (engl. *vector path*)
 - ◆ sličan algoritmu vektora udaljenosti, ali uzima u obzir putove ili "staze" kao niz AS-ova na putu do odredišta

- ◆ “Puni” tablicu usmjeravanja i time određuje kako će se datagram s nekom odredišnom adresom usmjeriti do sljedećeg usmjeritelja
- ◆ Zahtjevi: jednostavnost, korektnost, robustnost, stabilnost, optimalnost i pravednost
- ◆ Kriterij optimalnosti puta: kašnjenje, udaljenost, cijena, sigurnost
- ◆ Vrste: statički i dinamički

- ◆ **neadaptivni** (statički) algoritmi
 - unaprijed izračunati putevi na temelju nekog(ih) kriterija (npr. udaljenost, cijena, ...)
 - putevi se postavljaju prilikom prvog pokretanja čvora i više se ne mijenjaju; ne uzimaju u obzir trenutno stanje
- ◆ **adaptivni** (dinamički) algoritmi
 - donose odluke o usmjeravanju temeljene na mjerenjima ili procjeni važećeg stanja u mreži (npr. aktualna topologija, opterećenje, ...)
 - pitanja "skupljanja znanja" o stanju u mreži i prilagodbe:
 - što pratiti? (udaljenost, broj skokova, opterećenje, cijenu,...?)
 - koga pitati? (samo susjedne čvorove, sve čvorove, ...?)
 - kada reagirati? (periodički, na promjenu topologije-opterećenja, ...?)

- ◆ Usmjeravanje najkraćim putem
 - ◆ Preplavljivanje
 - ◆ Usmjeravanje prema vektoru udaljenosti
 - ◆ Usmjeravanje prema stanju poveznice
- } neadaptivni algoritmi
- } adaptivni algoritmi
-
- ◆ Posebni slučajevi:
 - hijerarhijsko usmjeravanje
 - opće razašiljanje, difuzija (engl. *broadcast*)
 - višeodredišno razašiljanje (engl. *multicast*)
 - kada su krajnji čvorovi u pokretu (pristup Internetu u pokretu)
 - kada nema infrastrukture (ad-hoc mreže)

Engleski nazivi su:

Usmjeravanje najkraćim putem (engl. *shortest path routing*)

Preplavljivanje (engl. *flooding*)

Usmjeravanje prema vektoru udaljenosti (engl. *distance vector routing*)

Usmjeravanje prema stanju poveznice (engl. *link state routing*)

Hijerarhijsko usmjeravanje (engl. *hierarchical routing*)

Napomena: prisjetite se predavanja iz Komunikacijskih mreža!

Protokol Routing Information Protocol (RIP)



- ◆ Standardizirani protokol IETF STD 56 - RIP Version 2 (RFC 2453)
- ◆ Svojstva RIP-2:
 - Besklasno usmjeravanje
 - Maske podmreža
 - Ruta sljedećeg skoka (*next hop route*)
 - Autentifikacija
 - Višedredišno usmjeravanje (*multicast*)
- ◆ RIPng – proširenja za IPv6
- ◆ Koristi UDP na transportnom sloju
- ◆ Temelji se na algoritmu vektora udaljenosti (*vector distance*)
- ◆ Dvije vrste izvođenja
 - *aktivno* – usmjeritelji
 - *pasivno* – računala

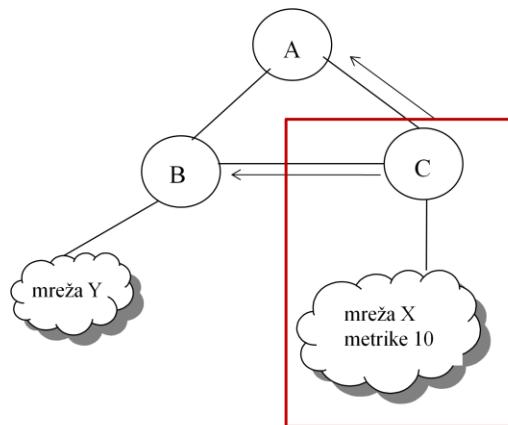
◆ Osnovne operacije

- Prilikom pokretnja šalje poruku svim susjedima tražeći kopije njihovih tablica usmjeravnja
- U aktivnom načinu rada šalje tablice usmjeravnja susjednim usmjeriteljima **svakih 30 sekundi**, periodički
- Svaka promjena topologije (metrike) šalje se ostalim usmjeriteljima skupnim razašiljanjem (broadcast)
- Usmjeritelj prihvata tablicu usmjeravanja, uspoređuje podatke sa svojom te ažurira ako je potrebno
- Ako usmjeritelj ne dobije poruku od susjeda **unutar 6 ciklusa** (180 s) ruta se postavlja na beskonačnu metriku (16), a nakon 60 s se briše

◆ Ograničenja

- Ne uzima u obzir propusnost poveznica, već samo udaljenost (broj skokova)
- Maksimalna metrika je 16 - mreža je nedostupna
 - metrika = broj skokova
 - ograničenost na 16 skokova
 - neprikladan za velike mreže
- Neprikladan za brze promjene topologije u mreži - spora konvergencija
- “Brojanje u beskonačnost”
- Detekcija ispada poveznice do 180 sekundi (6 ciklusa)
- Koristi fiksnu metriku temeljenu na duljini puta (broj skokova)

RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 1)



Usmjeritelj A

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža Y | B | 2 |
| default | B | |

Usmjeritelj B

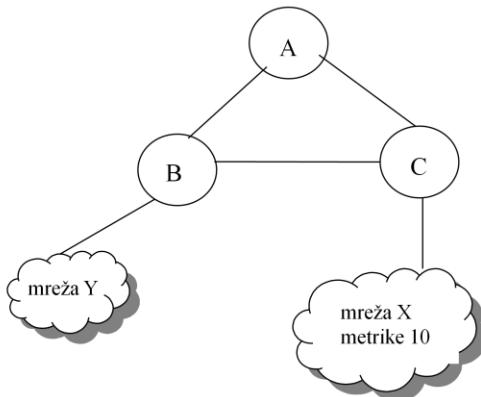
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža Y | - | 1 |
| default | B | |

Usmjeritelj C

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | - | 1 |

Pretpostavimo uvođenje novog usmjeritelja C u mrežu. Usmjeritelj C povezuje mrežu X s ostatkom mreže. U prvom trenutku tablica usmjeravanja je prazna odnosno jedini zapis kojeg posjeduje jest veza s mrežom X metrike 1 (izravna povezanost). Usmjeritelj C u prvom koraku šalje tablicu usmjeravanja susjednim usmjeriteljima.

RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 2)



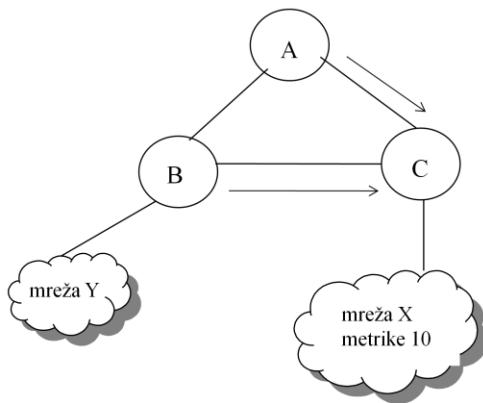
| Usmjeritelj A | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | B | 2 |
| default | C | |

| Usmjeritelj B | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | - | 1 |
| default | C | |

| Usmjeritelj C | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | - | 1 |

U drugom koraku, nakon što usmjeritelji A i B prihvate tablicu usmjeravanja od C, ažuriraju pristigu informaciju u svojim tablicama usmjeravanja. Na temelju pristigle informacije unose u svoju tablicu usmjeravanja podatak o novoj mreži i njoj ruti, odnosno dodaju zapis o novoj ruti prema mreži X koju dohvaćaju preko usmjeritelja C (metrike 2).

RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 3)



Usmjeritelj A

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | B | 2 |
| default | C | |

Usmjeritelj B

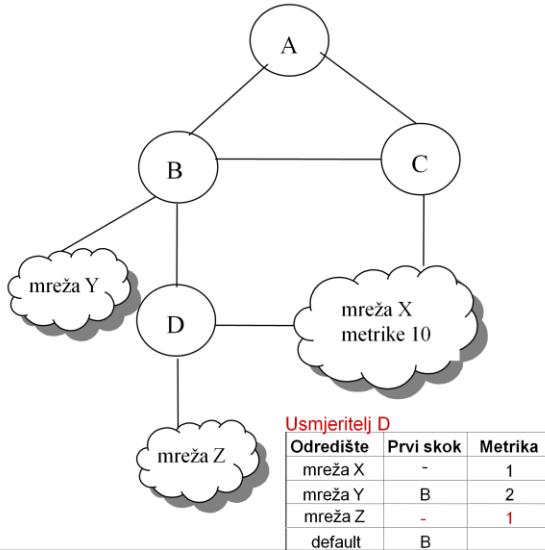
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | - | 1 |
| default | C | |

Usmjeritelj C

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | - | 1 |
| mreža Y | B | 2 |
| default | B | |

U trećem koraku, usmjeritelji A i B šalju svoje ažurirane tablice usmjeravanja susjedima. Usmjeritelj C tako dobiva tablice usmjeravanja od svojih susjeda te saznaće da je usmjeritelj B vezan izravno s mrežom Y te ažurira svoju tablicu smjeravanja i dodaje novu rutu (mreža Y, preko B, metrike 2). U sljedećoj iteraciji usmjeritelj šalje svoju novu tablicu usmjeravanja susjedima. Na taj je način proces uvođenja novog usmjeritelja i punjenja tablice usmjeravanja završen. Mreža se nalazi u stabilnom stanju sve dok se dogodi neka nova promjena u mreži.

RIP – primjer uvođenja novog usmjeritelja



| Usmjeritelj A | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | B | 2 |
| mreža Z | B | 3 |
| default | C | |

| Usmjeritelj B | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | - | 1 |
| mreža Z | D | 2 |
| default | C | |

| Usmjeritelj C | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | - | 1 |
| mreža Y | B | 2 |
| mreža Z | B | 3 |
| default | B | |

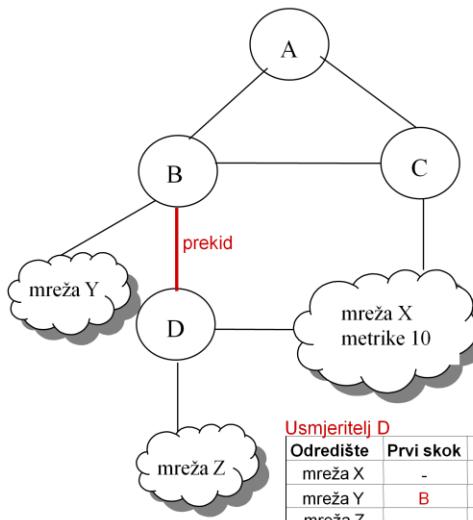
Komunikacijski protokoli

6. 12. 2012.

34 od 56

Uvodi se usmjeritelj D koji mrežu Z povezuje s ostatkom mreže. Usmjeritelj D izravno je povezan s mrežom Z i mrežom X te umjeriteljem B. Uvođenjem u mrežu, usmjeritelj D se javlja susjednim usmjeriteljima i šalje informaciju da je izravno povezan s mrežom Z (metrike 1). Ta informacija se propagira kroz cijelu mrežu. Usmjeritelj B, kada dobije informaciju od D, ažurira svoju tablicu usmjeravanja i postavlja da mu je mreža Z dohvatljiva preko D s metrikom 2. U sljedećem ciklusu, B šalje svoju tablicu usmjeravanja susjedima (usmjeriteljima A, C i D) te D tako dobiva informacije od B za ostatak mreže. Mreža Z je sada postala dostupna te sav promet prema njoj ide preko usmjeritelja D.

RIP - prekid veze (1)



| Usmjeritelj A | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | B | 2 |
| mreža Z | B | 3 |
| default | C | |

| Usmjeritelj B | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | - | 1 |
| mreža Z | D | 16 |
| default | C | |

| Usmjeritelj C | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | - | 1 |
| mreža Y | B | 2 |
| mreža Z | B | 3 |
| default | B | |

Komunikacijski protokoli

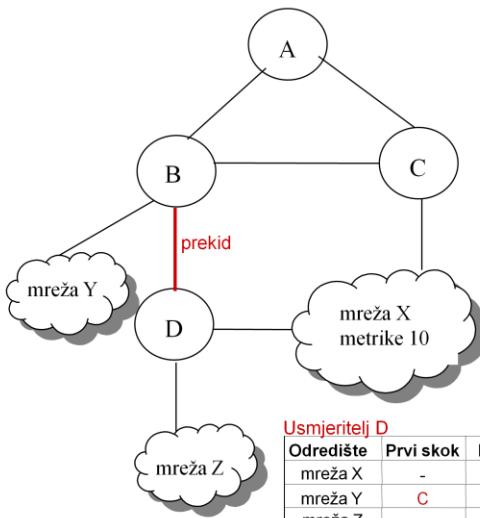
6. 12. 2012.

35 od 56

Prepostavimo da je između usmjeritelja B i D došlo do prekida. U tom slučaju potrebno je "naučiti" usmjeritelje da je do mreže Z bolji put preko mreže X, odnosno potrebno je usmjeriti promet preko usmjeritelja C. Nakon 6 ciklusa (180 sekundi) usmjeritelj B neće dobiti tablicu usmjeravanja od D te će shvatiti da je došlo do prekida i postaviti metriku na 16 i obavijestiti o tome susjedne usmjeritelje. Međutim, ako usmjeritelj B prije nego što pošalje informaciju o prekidu usmjeritelju C, dobije od C da je metrika do mreže Z = 3, postavit će rutu do mreže Z na 4 i poslati svoju tablicu usmjeritelju C. C zna da nije izravno povezan s mrežom Z i povećava metriku na 5, šalje tablicu usmjeravanja usmjeritelju B itd... sve dok C ne dobije informaciju s druge strane mreže (metrike 10) o kraćoj ruti. Budući da je taj put, od C do D, metrike 10, proći će 10 ciklusa da mreža "nauči" da je to kraći put. Ovo svojstvo naziva se spora konvergencija protokola. Ukoliko ne postoji alternativna ruta između B i D, dogodit će se slučaj "brojanja u beskonačnost", odnosno proći će vrijeme od 16 ciklusa da mreža shvati da je stvarno došlo do prekida.

Na slici je prikazan trenutak kada usmjeritelj B "shvati" da je došlo do prekida. To se događa kada usmjeritelj B ne dobije tablicu usmjeravanja od D punih 6 ciklusa (180 sekundi).

RIP - prekid veze (2)



Usmjeritelj A

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | B | 2 |
| mreža Z | C | 12 |
| default | C | |

Usmjeritelj B

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | C | 2 |
| mreža Y | - | 1 |
| mreža Z | C | 12 |
| default | C | |

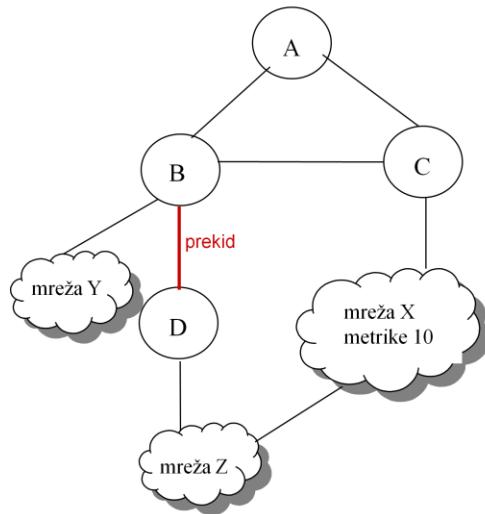
Usmjeritelj C

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | - | 1 |
| mreža Y | B | 2 |
| mreža Z | D | 11 |
| default | B | |

Na slici je prikazan trenutak u kojem se protokol stabilizirao i prilagodio novonastaloj situaciji. Sav promet prema mreži Z sada ide preko usmjeritelja C i D.

Primjer za vježbu

Objasnite slučaj kada dođe do prekida između usmjeritelja B i D te B dobije tablicu usmjeravnja od A prije nego što o novonastalom prekidu obavijesti usmjeritelja A!
Što će se dogoditi?



- ◆ Rješenja za "brojanje u beskonačnost" (*counting to infinity*)
 - zanemariti povratne informacije o ruti od usmjeritelja koji su naučili o ruti upravo od tog usmjeritelja (podjela obzorja - *split horizon*)
 - Ne rješava problem u svim slučajevima
 - može se slati povratna informacija s metrikom 16 (*split horizon with poisoned reverse*)
 - nakon detekcije prekida postaviti vremensku kontrolu (60-120 sekundi) i za to vrijeme zanemariti bilo kakve nove informacije o ruti (zadržavanje promjene o prekidu - *hold-down*)
- ◆ Rješenje za sporu konvergenciju
 - Informacija o promjeni šalje se čim se promjena dogodi (*triggered updates*)

Format poruke RIP-2



| 0 | 8 | 16 | 24 | 31 |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--|----|
| Tip RIP datagrama | inačica | | ne koristi se | |
| | Identifikacija protokola (2 za IPv4) | | Veza s ostalim protokolima (route tag) | |
| | | IP adresa (rute koja se šalje) | | |
| | | maska podmreže | | |
| | | sljedeći skok | | |
| | | metrika | | |

Tip: 1 – zahtjev, 2 – odgovor

Veza s ostalim usmjeravajućim protokolima IGP, EGP

IP adresa, maska podmreže, sljedeći skok i metrika su polja koja predstavljaju tijelo paketa RIP (informacije u ruti) – route table entries (RTE)

RTE zapisa može biti najviše 25 u jednom paketu RIP

RIPng – RIPv6



- ◆ RIPng – RIPv6
- ◆ RFC 2080
- ◆ Nema većih razlika između RIP-2 i RIPng
 - 128-bitna adresa

- ◆ Standardizirani protokol IETF STD 54 – OSPFv2 (RFC 2328)
- ◆ Koristi algoritam stanja poveznice (*link-state*)
 - Stablo najkraćih puteva (*shortest path first tree*)
 - Brza konvergencija
 - Podržava CIDR
 - Mali promet generiran prilikom komunikacije usmjeritelja
 - Složeniji protokol od RIP-a
- ◆ Proširenje za IPv6

- ◆ Osnovne operacije:

- Otkrivanje susjednih usmjeritelja (*neighbor discovery*)
- Izbor nadležnog (*designated*) usmjeritelja i pomoćnog nadležnog usmjeritelja (*backup*)
- Sinkronizacija tablica usmjeravanja
- Kreiranje/održavanje tablica usmjeravanja
- Oglašavanje stanja poveznica (LSA - Link State Advertisement)

- ◆ Hijerarhijsko usmjeravanje – primjena u velikim mrežama
 - Grupiranje mreža u tzv. područja (*areas*)
 - Svako područje ima nadležnog i pomoćnog nadležnog usmjeritelja
 - Kategorizacija usmjeravanja
 - *internal, border, AS boundary, backbone*
- ◆ Više paralelnih ruta (*multipath routing*)
 - *Equal Cost Multi-Path routing* (ECMP) – uravnoteženje opterećenja između ruta s jednakom težinom (cijenom)

OSPF operacije (2)



- ◆ Idenične informacije o usmjeravanju u svim usmjeriteljima (u stabilnom stanju)
 - Usmjeritelji posjeduju cjelokupnu sliku o topologiji mreže
 - Svaki usmjeritelj informacije o stanju poveznica šalje nadležnom i pomoćnom nadležnom usmjeritelju
 - Preplavljivanje prilikom oglašavanja stanja poveznice
 - Nadležni i pomoćni nadležni usmjeritelj primljene informacije o stanju poveznica šalju svim ostalim usmjeriteljima u području
- ◆ Uzima u obzir kapacitet poveznice prilikom računanja rute
 - Računanje najkraćeg puta – Dijkstrin algoritam
- ◆ Šalju se samo promjene u tablici usmjeravanja, ne cijele tablice
- ◆ Autentifikacija

OSPF značajke



- ◆ Svaki usmjeritelj ažurira raspodijeljenu bazu podataka LSDB (Link State Database)
 - Sadrže podatke o usmjeriteljima s kojima nisu izravno povezani

- ◆ Usmjeravanje velikih mreža
 - Interni IR (*internal*)
 - Granični ABR (*area border*)
 - Na granici AS-a ASBR (*AS boundary*)
 - Na okosnici mreže (*backbone*)

- ◆ Tipovi paketa/poruka
 - 1 - *Hello* - otkrivanje i održavanje susjednih odnosa između usmjeritelja
 - 2 - *Database Description* - opisuju bazu podataka, poruke se izmjenjuju tijekom inicijalne sinkronizacije;
 - 3 - *Link State Request* - poruka kojom se zahtijeva stanje linka;
 - 4 - *Link State Update* - poruke kojima se opisuju ili osvježavaju stanja linka;
 - 5 - *Link State Acknowledgment* - poruke kojima se potvrđuje osvježeno stanje linka;

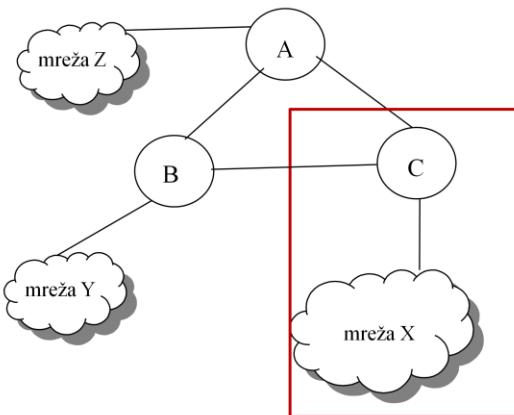
Protokol *Hello*



- ◆ Otkrivanje susjeda periodičkim slanjem *Hello* paketa
- ◆ Usmjeritelj šalje *Hello* pakete **svakih 10 sekundi**, dobiva njihov *Hello* paket natrag i time detektira postojanje susjeda
- ◆ Ukoliko ne dobije *Hello* paket **unutar 40 sekundi**, zaključuje da je došlo do prekida veze
 - Prestaje oglašavati vezu
 - Usmjerava pakete drugim putem

- ◆ Inicijalna sinkronizacija
 - Dva usmjeritelja tek počinju komunicirati
 - Razmjena baza podataka
 - Šalju se zaglavila svih LSA-ova (serijom paketa *Database Description*)
 - Nakon toga zahtjevi za LSA kojih nema (*Link State Request*) i odgovori (*Link State Update*)
- ◆ Kontinuirana sinkronizacija
 - Pojavom novih paketa za oglašavanje stanja linka (LSA)
 - Preplavljanjem
 - Počinje kada usmjeritelj želi osvježiti neki od svojih LSA-ova ukoliko mu se promjenilo neko od lokalnih stanja

OSPF primjer - punjenje tablica usmjerenja (1/3)



Usmjeritelj A

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža Y | B | 20 |
| mreža Z | - | 10 |
| default | B | |

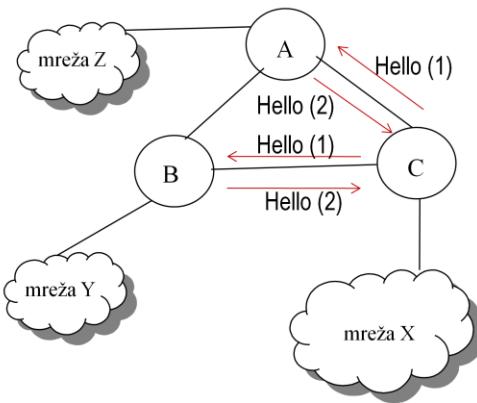
Usmjeritelj C

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | - | 10 |

Zamislimo slučaj u kojem u mrežu uvodimo novi usmjeritelj C kako bismo povezali mrežu X s ostatkom mreže. Uvođenjem u mrežu, usmjeritelj C na početku ima praznu tablicu usmjerenja odnosno jedino sadrži zapis o izravnoj vezi s mrežom X.

Proces uvođenja novog usmjeritelja i punjenja tablice usmjerenja je sljedeći. Usmjeritelj šalje Hello poruku radi otkivanja susjednih usmjeritelja. Tako saznaće i adresu nadležnog usmjeritelja, koji je zadužen za njegovu domenu. Nakon definiranja susjeda, potrebno je napraviti sinkronizaciju tablica usmjerenja, odnosno prikupiti podatke o putevima. Nakon toga formira se vlastita tablica usmjerenja, karakteristična za dotični usmjeritelj. Na kraju se oglašava novoformirana tablica usmjerenja kako bi se novonastalo stanje uskladilo s ostalim usmjeriteljima. Slijedi razrada opisanog procesa u nastavku.

OSPF primjer - upoznavanje (koraci 1 i 2) (2/3)



Usmjeritelj A

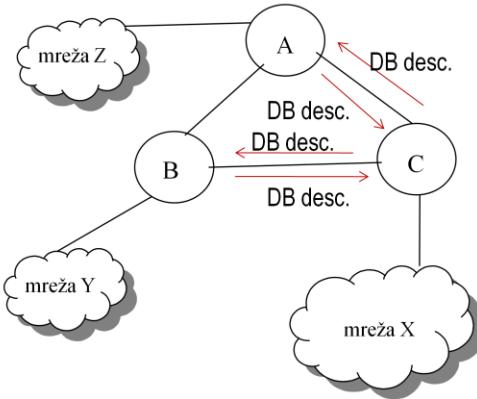
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža Y | B | 20 |
| mreža Z | - | 10 |
| default | B | |

Usmjeritelj C

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | - | 10 |

U prvom koraku usmjeritelj C šalje Hello pakete susjedima (usmjeriteljima A i B). Usmjeritelji A i B primanjem paketa Hello od usmjeritelja C saznaju za njegovo uvođenje u mrežu. U drugom koraku usmjeritelji A i B šalju Hello paket svojim susjedima (prema tome i novom usmjeritelju C). Na taj način usmjeritelj C saznaće za svoje susjedne usmjeritelje (A i B).

OSPF inicijalna sinkronizacija (korak 3) (3/3)



| Usmjeritelj A | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | C | 20 |
| mreža Y | B | 20 |
| mreža Z | - | 10 |
| default | B | |

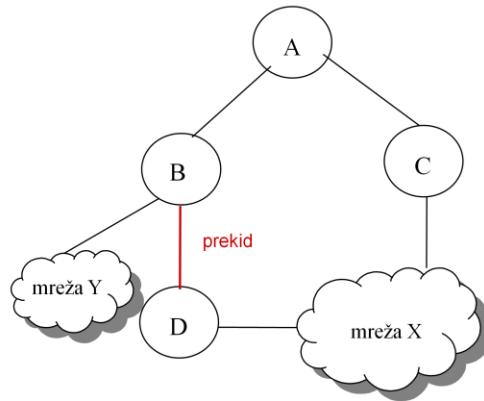
| Usmjeritelj C | | |
|---------------|-----------|---------|
| Odredište | Prvi skok | Metrika |
| mreža X | - | 10 |
| mreža Y | B | 30 |
| mreža Z | A | 20 |
| default | A | |

Nakon upoznavanja, treći korak podrazumijeva **inicijalnu sinkronizaciju** tablica usmjeravanja koja započinje razmjenom tablica usmjeravanja (između C i A te C i B). Parovi usmjeritelja (C i A te C i B) šalju zaglavla svih LSA-ova iz svoje tablice usmjeravanja u slijedu paketa *Database Description* na način da se sljedeći paket šalje tek kad je prijašnji potvrđen. Usmjeritelj A uvodi novi zapis o mreži X, a usmjeritelj C o rutama za mrežu Y i Z (slika).

Kada je navedena razmjena završila, svaki usmjeritelj šalje niz paketa *Link State Request* kojima zahtijeva LSA-ove koje nema ili one koje su novije kod susjeda, a susjedni usmjeritelj odgovara preplavljivanjem traženih LSA-ova u paketima *Link State Update*. Nakon što su razmijenjeni svi LSA-ovi s obje strane, inicijalna sinkronizacija je završena, a poveznica među usmjeriteljima je spremna za protok podataka.

U stabilnom stanju, izvodi se **kontinuirana sinkronizacija** tablica usmjeravanja preplavljivanjem kada usmjeritelj želi osvježiti neki od svojih LSA-ova bilo jer mu se promijenilo neko od lokalnih stanja (npr. prekid poveznice), bilo da želi izbrisati neki od LSA-ova. Kontinuirana sinkronizacija izvodi se slanjem LSA (jedan ili više) unutar paketa *Link State Update* preko svih svojih sučelja. Kada neki od susjeda primi navedeni paket, ispituje svaki LSA unutar paketa, šalje potvrdu natrag pošiljatelju, a navedeni LSA šalje u novom paketu *Link State Update* preko svih svojih sučelja osim onog po kojemu ga je primio. Ovo se nastavlja dok svi usmjeritelji u mreži ne dobije navedenu LSA.

OSPF – primjer prekida poveznice

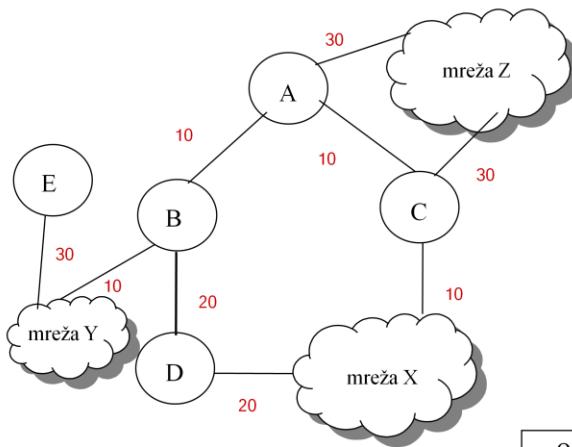


Usmjeritelj A

| Odredište | Prvi skok | Metrika |
|-----------|-----------|---------|
| mreža X | B | 80 |
| | C | 60 |
| mreža Y | B | 90 |

Promet prema mreži X može ići preko usmjeritelja C ili usmjeritelja D, ovisno o metriči. Ako dođe do prekida veze između B i D, sav promet se do mreže X i Z usmjeruje preko usmjeritelja C.

Primjer OSPF – određivanje najkraćeg puta



Usmjeritelj E

LSDB

| | A | B | C | D | E |
|---|----|----|----|----|----|
| A | | 10 | 10 | | |
| B | 10 | | | 20 | |
| C | 10 | | | | |
| D | | 20 | | | |
| E | | | | | |
| X | | | 10 | 20 | |
| Y | | 10 | | | 30 |
| Z | 30 | | 30 | | |

| Odred. | Prvi skok | Metrika |
|--------|-----------|---------|
| X | B | 60 |
| Y | - | 30 |
| Z | B | 70 |

Komunikacijski protokoli

6. 12. 2012.

53 od 56

Za primjer na slici odredite bazu podataka LSDB i tablicu usmjeravanja za usmjeritelj E!

Napomena: uzima se u obzir metrika (smjer) od usmjeritelja prema mreži, dok je vrijednost metrike u obrnutom smjeru jednaka 0 (od mreže prema usmjeritelju)!

Za vježbu odredite tablice usmjeravanja za ostale usmjeritelje!

OSPF zaglavje



| 0 | 8 | 16 | 24 | 31 |
|---------------|--|----|---------------------------|----|
| verzija | tip paketa | | Duljina paketa | |
| | Oznaka (ID) izvornog OSPF usmjeritelja | | | |
| | oznaka (ID) OSPF područja | | | |
| zaštitna suma | | | tip autentifikacije | |
| | | | autentifikacija (64 bits) | |

Tip paketa:

- 1 - Hello
- 2 - Database Description
- 3 - Link State Request
- 4 - Link State Update
- 5 - Link State Acknowledgment.

Tip autentifikacije – autentifikacijska shema koja se koristi

- ◆ Nema većih razlika, većina nasljedena iz IPv4
- ◆ Glavne su promjene vezane uz adresu
 - Veća adresa
 - IPv6 adrese se nalaze samo u paketima LSA, ostali OSPF paketi ne sadrže IPv6 adresu
 - Susjedni usmjeritelji se identificiraju prema broju (ID), a ne prema adresi (kod *Hello* protokola)
 - Polja za autentifikaciju su izbačena iz OSPF zaglavlja – autentifikacija se oslanja na IPv6 AH i ESP

Usporedba RIP i OSPF protokola



| | RIP | OSPF |
|---------------|-------------------|------------------------|
| algoritam | vekt. udaljenosti | stanja linka |
| maks. skok | 15 | x |
| podjela mreže | u RIPv2 | da, hijerarhija |
| metrika | broj skokova | skok, propusnost linka |
| broj ruta | jedna ruta | više ruta |
| tip ruta | host, mreža | host, mreža, podmreža |
| složenost | jednostavan | složeniji |