Usporedba metoda i protokola IP usmjeravanja

Selak, Krešimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:708846

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Krešimir Selak

Usporedba metoda i protokola IP usmjeravanja

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

USPOREDBA METODA I PROTOKOLA IP USMJERAVANJA

COMPARISON OF IP ROUTING METHODS AND PROTOCOLS

Mentor: izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Krešimir Selak, 0135224611

Zagreb, rujan 2015.

USPOREDBA METODA I PROTOKOLA IP USMJERAVANJA

SAŽETAK

U radu je opisana uloga usmjerivača u procesu usmjeravanja i prospajanja paketa na način da su opisane funkcije prosljeđivanja i usmjeravanja uz ostale funkcije, kao i komponente od kojih se sastoji usmjerivač i čemu one služe. Opisan je proces usmjeravanja na logičkoj i fizičkoj razini, opisana je struktura tablice usmjeravanja, njena uloga i značenje pojedinih stavki iz tablice kao i principi usmjeravanja koji se koriste kod dizajniranja tablice usmjeravanja.

Opisane su značajke statičkih i dinamičkih ruta, njihove prednosti i nedostaci, način rada i koji su protokoli i algoritmi predstavnici svakog. Prikazan je proces određivanja puta i način na koji se paketi prosljeđuju u mreži. Opisano je usmjeravanje, metrike i njihov opis, opisana je administrativna udaljenost, kao i proces prosljeđivanja i usmjeravanja u LAN mrežama. Napravljena je podjela protokola usmjeravanja, opisane su njihove značajke, opisan svaki protokol usmjeravanja i napravljena je njihova komparativna analiza.

KLJUČNE RIJEČI: usmjerivač; usmjeravanje; tablica usmjeravanja; statičke i dinamičke rute; prosljeđivanje paketa; protokol usmjeravanja

SUMMARY

In this thesis router role in process of routing is explained through describing routing and forwarding as well as other router functions. Router components and their purpose as well as routing process on logical and physical level are explained. Routing table and their purpose, meaning of her content and principles that are used during route table design are described.

Static and dynamic routing features and advantages and disadvantages, as well as protocols and algorithms are described. Terms such as administrative distance and metrics are explained, process of routing and forwarding in LAN networks is described. Division of routing protocols, description of their features and their comparison is made.

KEYWORDS: router; routing; routing table; static and dynamic route; forwarding; routing protocols

SADRŽAJ

1. Uvod ... 1
2. Usmjerivač i njegova uloga u usmjeravanju ... 2
2.1 Usmjerivač ... 2
2.2 Usmjeravanje ... 5
3. Struktura tablice usmjeravanja ... 7
4. Statičke i dinamičke rute ... 10
4.1 Statičke rute ... 10
4.2 Dinamičke rute ... 11
4.2.1 Protokoli vektora udaljenosti ... 12
4.2.2 Protokoli stanja veze ... 13
5. Određivanje puta i prosljeđivanje paketa ... 15
5.1 Određivanje puta ... 15
5.2 Prosljeđivanje paketa ... 16
5.3 Usmjeravanje paketa u LAN mrežama ... 17
6. Komparacija značajki protokola usmjeravanja ... 19
6.1 Značajke protokola usmjeravanja ... 19
6.2 Vrste protokola usmjeravanja ... 19
6.3 Opis protokola usmjeravanja ... 20
6.3.1 Autonomni sustavi ... 20
6.3.2 Border Gateway Protocol ... 21
6.3.3 Intermediate System to Intermediate System ... 22
6.3.4 Open Shortest Path First ... 22
6.3.5 Interior Gateway Routing Protocol ... 23
6.3.6 Enhanced Interior Gateway Routing Protocol ... 23
6.3.7 Routing Information Protocol ... 24
6.3.8 Komparacija značajki protokola ... 26
7. Zaključak ... 28
Popis literature ... 29
Popis ilustracija ... 30
Popis kratica ... 31
Popis tablica ... 33

1. Uvod

U paketskim mrežama prijenos podataka odvija se razdvajanjem podataka u segmente kojima se dodaje zaglavlje ispunjeno podacima potrebnim za njihov put od izvora do odredišta. Paket je segment kojem je dodano zaglavlje.

S obzirom da su podatkovne mreže velike i sastoje se od puno manjih povezanih mreža potrebni su uređaji koji prenose pakete kroz veliku mrežu i odvode ih na odredište. Najveća mreža povezanih mreža zove se Internet.

Usmjerivači su mrežni uređaji koji imaju dvije osnovne funkcije: usmjeravanje i prosljeđivanje. U radu su obrađene obje funkcije, s tim da je težište na procesu usmjeravanja i elementima od kojih se taj proces sastoji. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Usmjerivač i njegova uloga u usmjeravanju
3. Struktura tablice rutiranja/ usmjeravanja
4. Statičke i dinamičke rute
5. Određivanje puta i prosljeđivanje paketa
6. Komparacija značajki protokola usmjeravanja
7. Zaključak

U drugom poglavlju opisan je usmjerivač i njegove funkcije koje omogućuju prijenos paketa, opisan je postupak usmjeravanja kao i komponente od kojih se usmjerivač sastoji.

Treće poglavlje govori o tablici usmjeravanja i njenom sadržaju, ulozi u usmjeravanju kao i vrsti ruta koje sadrži.

Statičke i dinamičke rute tema su četvrtog poglavlja, gdje se govori karakteristikama, načinu rada, prednostima i nedostacima i protokolima koji ih predstavljaju.

Peto poglavlje govori o postupku odabira najbolje rute, kako se odabire najbolja ruta, koji su kriteriji za odabir. Opisuje se proces prosljeđivanja paketa u usmjerivaču.

U šestom poglavlju pregledavaju se značajke koje karakteriziraju svaki protokol usmjeravanja, opisuje se podjela protokola usmjeravanja i opisuju se svi protokoli usmjeravanja sa svojim specifičnostima, te se provodi komparacija značajki navedenih protokola.

2. Usmjerivač i njegova uloga u usmjeravanju

Internet je globalna računalna mreža koja se sastoji od velikog broja međusobno povezanih mreža i odlikuje ih bezkonekcijsko povezivanje, zajednička adresna struktura i protokoli TCP/ IP (eng. Transfer Control Protocol/ Internet Protocol).

Protokoli koji omogućavaju komunikaciju između korisnika su: IP, ICMP (eng. Internet Control Message Protocol), IGMP (eng. Internet Group Management Protocol), kao i TCP i aplikacijski protokoli, a oni svi zajedno omogućavaju komunikaciju.

Prema [1], Internet se sastoji od skupa međusobno povezanih mreža koje se sastoje od elemenata za prospajanje i usmjeravanje prometnih potoka, kao i fizičkih linkova kojima su povezani. Fizički linkovi omogućavaju podacima koji su upakirani u pakete da budu preneseni između usmjerivača do različitih mreža.

Arhitektura otvorenog umrežavanja je ideja na kojoj se temelji princip Interneta, a ona se sastoji od četiri pravila:

- Svaka mreža mora funkcionirati samostalno i ne trebaju se provoditi promjene na njenoj unutrašnjoj strukturi prije spajanja na Internet.
- Zasniva se na *Best Effort.*
- U slučaju da paket ne stigne do odredišta, šalje se novi paket iz izvora.
- Za povezivanje mreža koriste se usmjerivači.
- Ne provodi se kontrola na svim operativnim razinama globalno.

Usmjerivač ili ruter (od eng. router) je dio mrežne opreme zadužen za usmjeravanje paketa na njihovom putu od izvorišta do odredišta podatkovne mreže temeljem informacija sadržanih u zaglavlju paketa.

Usmjeravanje je postupak određivanja puta ili rute kojom će paket putovati od izvora do odredišta unutar mreže.

2.1 Usmjerivač

Prvi usmjerivač koji je imao obilježja današnjih usmjerivača bio je IMP (eng. Interface Message Processor) napravljen od ARPANET kompanije (eng. Advanced Research Projects Agency Network) koja je napravila prvu paketsku mrežu koja je prethodnik Interneta. Pojavom i stalnim razvojem Interneta usmjerivači se razvijaju [2].

Usmjerivač ima dvije osnovne funkcije, a to su usmjeravanje i prosljeđivanje. Usmjeravanje je proces odabira puta paketa na putu od izvora do odredišta i provodi se na temelju tablica usmjeravanja koje se nalaze u memoriji usmjerivača. Druga funkcija je prosljeđivanje paketa, a to je proces u kojem se izvode sve potrebne radnje da bi se paket poslao na odredište nakon što je izabrana ruta.

Tablica usmjeravanja se sastoji od statičkih i dinamičkih ruta, direktnih ruta, metrike i administrativne udaljenosti. Osim tablice usmjeravanja usmjerivač ima i tablice filtriranja. Svako izlazno sučelje može imati do dvije tablice filtriranja. Tablica filtriranja govori dali će

se paket propustiti ili odbaciti i prema kojim uvjetima će se napraviti odabir. To je lista uvjeta na kojoj su najvažniji uvjeti na početku jer se oni prvi provjeravaju. Kada krene sa provjerom liste prestaje kada dođe pravilo koje paket zadovoljava. Zadovolji li to pravilo, paket se propušta.

Kada paket dođe u usmjerivač, u ulaznom sučelju se ispituje njegovo odredište na temelju odredišne IP adrese, zatim se sprema u međuspremnik usmjerivača dok se ne donese odluka kojom rutom usmjeriti paket. Jednom od metoda se odlučuje kojom rutom će paket ići i on se prenosi na izlazno sučelje usmjerivača gdje čeka prijenos.

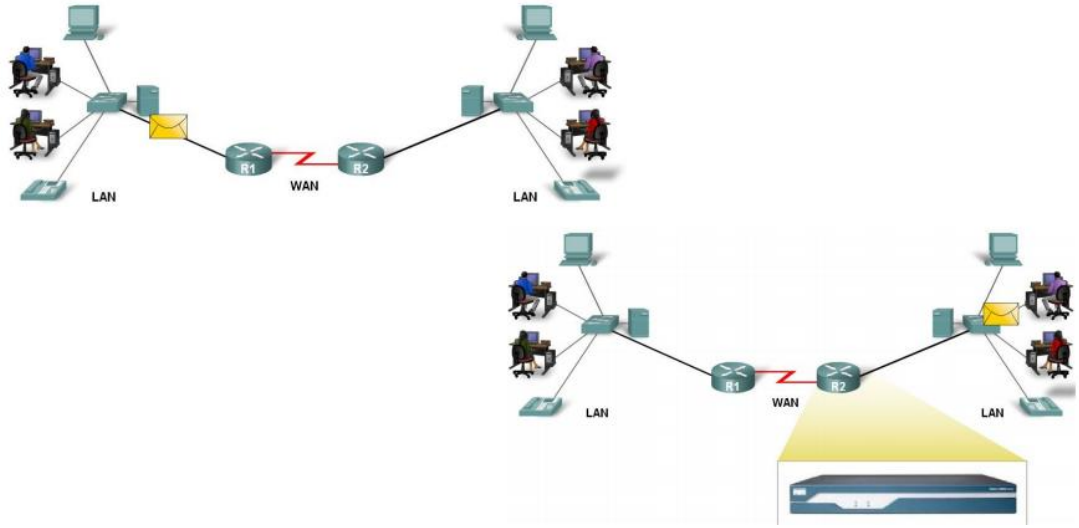
Osim usmjeravanja i prosljeđivanja, usmjerivač ima funkcije kontrole pristupa, segmentacije i alokacije propusnog opsega. Kontrola pristupa ili filtriranje je funkcija odbacivanje neželjenih paketa na temelju nekih parametara. Segmentacija je funkcija razdijeljivanja paketa u manje paketa i dodavanje zaglavlja svakom pojedinom segmentu, događa se zbog razlika u mrežama i njihovom MTU (eng. Maximal Transimission Unit). Alokacija propusnog opsega je važna za kvalitetu usluge jer ova funkcija omogućava uvođenje prioriteta za važniji promet i njegovo brže posluživanje od prometa sa manjim prioritetom. Zbog velike količine prometa i raznih vrsta prometa koji imaju drugačije zahtjeve vezane uz parametre prijenosa potrebna je alokacija.

Također se obavljaju funkcije kao što su obrađivanje kontrolnih paketa, provjera ispravnosti paketa, kontrola toka, kvaliteta usluge. Svaki usmjerivač mora znati podatke o topologiji mreže i stanju putova unutar mreže, te one moraju biti ažurne i točne. Usmjerivači dobivaju informacije na način da usmjerivači komuniciraju međusobno pomoću protokola usmjeravanja i na taj način znaju topologiju, stanje mreže i u stanju su odrediti optimalni put na temelju nekog od kriterija. Postoje dvije osnovne vrste protokola usmjeravanja a to su protokol vektora udaljenosti i protokol stanja veze. To vrijedi za dinamičke rute, dok statičke nemaju mogućnost komunikacije međusobno i mrežni administrator unosi rute.

O&M (eng. Operation and Maintanence) funkcije usmjerivača su prema [3]:

- Održavanje: svaki usmjerivač mora biti u mogućnosti izvršiti dijagnostiku u slučaju kvara.
- *Dumping* i *rebootnig*: mehanizmi koji omogućavaju izbacivanje sadržaja memorije i automatski restart u slučaju hardverske ili softverske pogreške odnosno kvara.
- Konfiguracija: usmjerivač mora imati mogućnost ažuriranja parametara sa ili bez *reboot*-a kao i konfiguraciju usmjerivača ručno ili automatski .
- Detekcija i odgovor na pogrešnu konfiguraciju: usmjerivač mora imati mogućnost prepoznavanja pogrešne konfiguracije i javljanja pogreške.

Usmjerivač je dio mrežne opreme zadužen za usmjeravanje i komutiranje paketa na njihovom putu od izvorišta do odredišta podatkovne mreže temeljem informacija sadržanih u zaglavlju paketa. Paketi se usmjeravaju na temelju informacije o IP adresi odredišta, no usmjerivači mogu biti konfigurirani da usmjeravaju paketa na temelju IP adrese izvora. Jednostavni prikaz uloge usmjerivača u procesu prijenosa informacija prikazan je slikom 1. Usmjerivač obavlja svoj posao na mrežnom sloju OSI (eng. Open System Interconnection) modela. Njihova zadaća je povezivanje različitih mreža odabirom najboljeg puta i prosljeđivanjem paketa na njihovo odredište.



Slika 1: Uloga usmjerivača u povezivanju mreža, [5]

Hardverski usmjerivač se sastoji od procesora (čija je zadaća usmjeravanje, filtriranje, segmentiranje paketa i upravljanje kvalitetom usluge), memorija RAM (eng. Random Access Memory), ROM (eng. Read Only Memory), NVRAM (eng. Non Volatile RAM), operativnog sustava, raznih fizičkih priključaka za povezivanje različitih vrsta mreža: *Ethernet*, *Fastethernet*, ISDN (eng. Integrated Services Digital Network), DSL (eng. Digital Subscriber Line), CABLE, te za upravljanje usmjerivačem *aux* portovi.

Prema [4], memorije usmjerivača se dijele na:

- RAM koja sadrži OS i tablicu usmjeravanja, ARP (eng. Address Resolution Protocol) tablicu, redove čekanja za dolazne i izlazne pakete, njen sadržaj se gubi gašenjem usmjerivača
- ROM sadrži softver koji se koristi prilikom početnog pokretanja usmjerivača i prilikom svakog drugog pokretanja kao i dijagnostički program koji provjerava funkcioniranje svih komponenti prilikom pokretanja i javljanje eventualne pogreške
- NVRAM sadrži početnu konfiguraciju IP adresa, kao i protokole usmjeravanja koje koristi, ne gubi podatke gubitkom napajanja
- FLASH čuva operativni sustav, ne gubi sadržaj gubitkom napajanja.

U [5] opisano je da svaki usmjerivač ima *interface* odnosno fizički izlaz ili izlazno sučelje koji omogućava slanje i primanje paketa, sastoji se od ulaza (utičnica) i priključaka. Postoje: *Ethernet, Fastethernet, Serial*, DSL, ISDN i žično izlazno sučelje.

Podjela izlaznih sučelja se dijeli na dvije osnovne skupine:

- LAN (eng. Local Area Network) izlazno sučelje koji se koriste da povežu usmjerivač u LAN mrežu, sadrži MAC (Media Access Control) adresu i može imati IP adresu, te se obično koristi RJ- 45 priključak.
- WAN (eng. Wide Area Network) izlazno sučelje koji se koriste da povežu usmjerivače u vanjsku mrežu koja je povezana sa LAN- ovima, korisiti IP adresu.

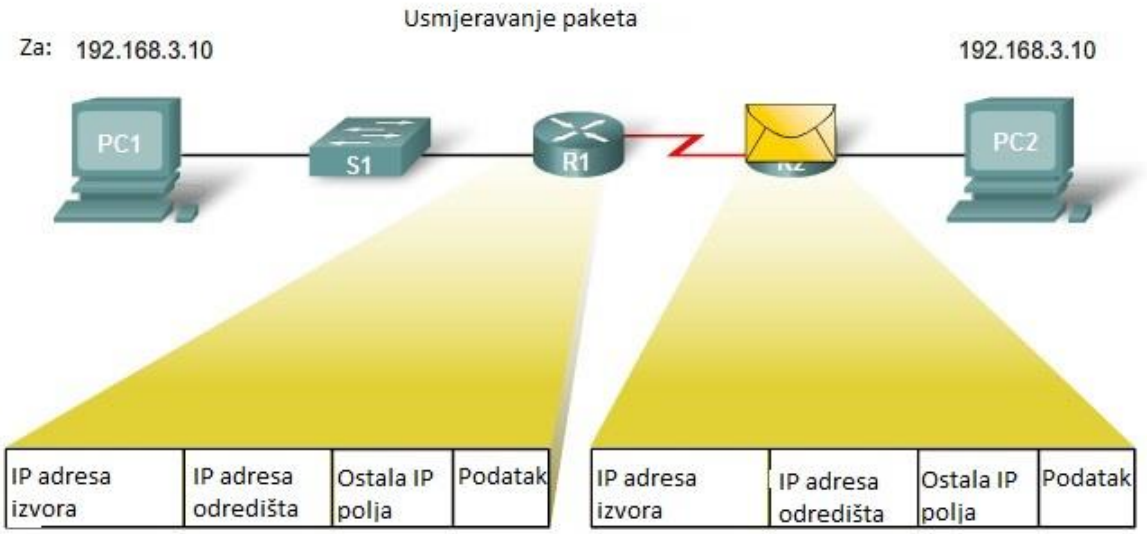
Prilikom pokretanja usmjerivač prvo prolazi kroz provjeru hardvera, zatim se pokreću programi za podizanje operativnog sustava, nakon čega se pokreće operativni sustav i učitava se konfiguracija ili prelazi u *setup mode* ako usmjerivač nije kofiguriran.

Prema [3], usmjerivač mora moći izvoditi sljedeće funkcije:

1. Mora se uskladiti sa raznim Internet protokolima
2. Mora imati sučelje prema dvije ili više podatkovne mreže, te imati funkcije:
    - Enkapsulacije i dekapsulacije IP paketa
    - Slanje i primanje maksimalne veličine IP paketa podržanih mrežom
    - Prijevod IP odredišne adrese u odgovarajuću mrežnu adresu za povezane mreže
    - Kontrola toka i pogrešaka.
3. Slanje i primanje IP paketa- pitanja na koja se treba adresirati su upravljanje spremnikom, kontrola toka i pravednost raspodjele
        - Prepoznavanje pogreške i generiranje ICMP informacijske poruke
        - Odbacivanje paketa čije je vrijeme života (eng. Time to Live) isteklo
        - Fragmetiranje paketa kada je potrebno da se prilagode MTU sljedeće mreže.
4. Odabir sljedeće destinacije ili skoka na temelju informacija dostupnih u vlastitoj tablici usmjeravanja
5. Podrška IGP (eng.Interior Gateway Protocols) protokolu prilikom distribucije ruta i algoritama dohvata sa ostalim usmjerivačima u istom autonomnom sustavu, kao i EGP (eng. Exterior Gateway Protocols) protokolu da izmjenjuje podatke o topologiji sa drugim autonomnim sustavima
6. Omogućava management mreže i sustava podrške.

2.2 Usmjeravanje

Proces usmjeravanja započinje čitanjem podataka u zaglavlju paketa koji je stigao u usmjerivač. Prvo se traži odredišna adresa u zaglavlju, zatim usmjerivač traži podatke u tablici usmjeravanja i na temelju tih podataka odabire izlazno sučelje na koji se šalje paket i određuje se adresa sljedećeg usmjerivača na putu do odredišta. U tablici usmjeravanja se nalaze najbolje rute za svako mrežno odredište, a tablice se nalaze u memoriji usmjerivača. Ovaj proces se naziva *address lookup*, nakon kojeg se vrši proces komutacije kada se paket prebacuje na odgovarajući izlaz spreman za slanje, [2]. Paket je enkapsuliran u okvir prije slanja, te se okvir prenosi na medij preko kojeg se šalje u obliku bitova. Komunikacija pomoću usmjerivača ne uspostavlja se jedino u slučaju da su izvorišna i odredišna adresa u istoj podmreži kada se veza uspostavlja izravno. Pojednostavljeni proces usmjeravanja prikazan je slikom 2.



Slika 2: Proces usmjeravanja od izvora do odredišta, [14]

Prema opisu u [6], proces usmjeravanja i prijenosa podataka na mrežnom sloju (na kojem se nalazi usmjerivač) promatramo na sljedeći način: jedinica prenesenih podataka u sloju naziva se NPDU (eng. Network Protocol Data Unit), a sustav se sastoji od krajnjih elemenata koji su izvorište ili odredište i nazivaju se ES (eng. End System) i međuelemenata IS (eng. Intermediate System) koji su posrednici NPDU između ES. Svaki ES element je određen svojom jedinstvenom NSAP adresom (eng. Network Service Access Point), a IS elemeti su određeni svojim NET oznakama (eng. Network Entity Title).

Prethodni odlomak pokazuje proces usmjeravanja na logičkoj razini, u praksi usmjerivači mogu povezivati tehnološki različite mreže što može dovesti do raznih problema. Kako je opisano u [7], sama fizička izvedba mreže može utjecati na ograničenu najveću dopuštenu duljinu IP paketa na duljinu podatkovnog polja okvira na sloju podatkovnog linka, odnosno MTU. Za Internet standardni MTU iznosi 576 okteta, dok je u lokalnim mrežama prema Ethernet standardu 1500 okteta. Zbog ove razlike kod dodira ovih različitih mreža dolazi do postupka fragmentacije kada usmjerivač podijeli IP paket na manje dijelove i svakom dijelu dodijeli IP zaglavlje.

3. Struktura tablice usmjeravanja

Kako je opisano u [6], tablica usmjeravanja je baza podataka o topologiji mreže smještena u memoriji usmjerivača. Prilikom prosljeđivanja paketa adresa odredišta se povezuje sa mrežnim rutama koje vode do njega. Protokoli usmjeravanja služe za izgradnju i održavanje tablica usmjeravanja.

Tablica usmjeravanja fizički se nalazi u RAM memoriji usmjerivača i prema [5] sadrži:

- informacije o direktno povezanim mrežama- uređaj je povezan sa izlaznim sučeljem drugog usmjerivača
- informacije o indirektno povezanim mrežama- mreža koja nije direktno povezana sa određenim usmjerivačem
- detaljne informacije o mreži kao što su: mrežnu adresu, masku podmreže, IP adresu sljedećeg usmjerivača u skoku.

Problem se javlja zbog ograničenih memorijskih kapaciteta zaduženih za pohranjivanje ruta prema velikom broju mreža. Rješenje je u pretpostavci da su slične adrese smještene blizu, tako da se jednim zapisom u tablici usmjeravanja omogućuje usmjeravanje prema više odredišta. Ova pretpostavka omogućuje korištenje MPLS (eng. Multiprotocol Label Switching) oznaka kod kojih se jednim čitanjem tablice usmjeravanja određuje više postaja na putu prema odredištu.

Kod tablica usmjeravanja postoje tri osnovna principa (Alex Zinin princip):

- svaki usmjerivač donosi odluke sam temeljem informacija koje sadrži u svojoj tablici usmjeravanja
- različite tablice usmjeravanja sadrže drugačije informacije
- tablica usmjeravanja govori kako doći do odredišta, ali ne i kako doći do izvora.

Također, potrebno je izbjeći zatvaranje petlji usmjeravanja, tj. stvaranje beskonačne petlje prosljeđivanja. Protokoli usmjeravanja služe za osiguranje dosljednosti tablica usmjeravanja.

Beskonačne petlje nastaju kada skupina usmjerivača neprekidno prosljeđuje isti paket međusobno ne približavajući ga prema odredištu. Petlje nepotrebno opterećuju usmjernike, usporavaju mrežu, zauzimaju prijenosni medij, dolazi do gubitka paketa.

Petlje mogu izazvati loše konfiguracije statičkih ruta ili alternativnih ruta, ne ažurirane tablice usmjeravanja, loša konfiguracija *disard* poruka.

Postoje tri tipa ruta u tablici usmjeravanja: direktne rute, statičke rute i dinamičke rute.

Statičke rute u tablici usmjeravanja sadrže: mrežnu adresu, masku podmreže i IP adresu sljedećeg usmjerivača u skoku (*next hop).* Tablice usmjeravanja moraju imati prioritet za direktno spojene mreže koje se koriste za spajanje udaljenih mreža, zatim se može koristiti statičko ili dinamičko usmjeravanje.

Statičke rute se koriste kada se mreža sastoji od par usmjerivača i kada je mreža spojena na Internet samo preko jednog ISP-a (eng. Internet Service Provider).

Dinamički protokoli usmjeravanja se koriste za dodavanje udaljenih mreža u tablicu usmjeravanja, za otkrivanje novih mreža, kao i za održavanje i ažuriranje tablice usmjeravanja dijeljenjem informacija sa drugim usmjerivačima. Dinamički protokoli uče o stanju u mreži od drugih usmjerivača.

Svaka linija tablice usmjeravanja predstavlja jednu rutu. Svaki stupac definira poseban kriterij prema kojem usmjerivač može izabrati najbolju rutu za paket koji želi rutirati. Na slici 3 prikazan je izgled tablice usmjeravanja. Značenje pojedinih stupaca, [8]:

- *Network destination*: sva mrežna sučelja, lokalne i udaljene podmreže koje usmjerivač zna će biti prikazani.
- *Netmask*: maske podmreže se koriste kao veza koja IP informacije koje određuje mrežni ID i ID hosta poveže sa IP adresom. Usmjerivači koriste ovu informaciju za određivanje postoji li veza između paketa koji se obrađuje i bilo kojeg predmeta u tablici usmjeravanja. Ako postoji veza, *Interface* stupac određuje na koji izlaz će usmjerivač poslati paket.
- Dodjeljeni pristupnik (eng. Default gateway): ako ne postoji veza, paket se šalje na ovaj izlaz.
- *Metric*: relativna vrijednost koja govori koliki je trošak rute. Ako je dostupno više ruta, izabrat će se ruta sa nižim troškom. Ako je trošak rute isti za dva različita protokola, izabrat će se onaj koji ima manju administrativnu udaljenost koja govori koji je protokol sigurniji.

```
===========================================================================
Interface List
 10...00 1e 4f f5 00 16 ......Intel(R) 82566DM-2 Gigabit Network Connection
  1...........................Software Loopback Interface 1
 11...00 00 00 00 00 00 00 e0 Microsoft ISATAP Adapter
 12...00 00 00 00 00 00 00 e0 Microsoft ISATAP Adapter #2
 15...00 00 00 00 00 00 00 e0 Teredo Tunneling Pseudo-Interface
===========================================================================

IPv4 Route Table
===========================================================================
Active Routes:
Network Destination        Netmask          Gateway       Interface  Metric
          0.0.0.0          0.0.0.0  192.168.111.254   192.168.111.55     10
        127.0.0.0        255.0.0.0         On-link         127.0.0.1    306
        127.0.0.1  255.255.255.255         On-link         127.0.0.1    306
  127.255.255.255  255.255.255.255         On-link         127.0.0.1    306
    192.168.111.0    255.255.255.0         On-link    192.168.111.55    266
   192.168.111.55  255.255.255.255         On-link    192.168.111.55    266
  192.168.111.255  255.255.255.255         On-link    192.168.111.55    266
        224.0.0.0        240.0.0.0         On-link         127.0.0.1    306
        224.0.0.0        240.0.0.0         On-link    192.168.111.55    266
  255.255.255.255  255.255.255.255         On-link         127.0.0.1    306
  255.255.255.255  255.255.255.255         On-link    192.168.111.55    266
===========================================================================
```

Slika 3: Izgled tablice usmjeravanja, [15]

Znači, statičke rute su one koje se ručno unose u tablicu usmjeravanja od strane mrežnog administratora, dinamičke rute su one rute koje su dobivene protokolima za usmjeravanje. Rute za direktno povezivanje mreže se automatski upisuju nakon povezivanje izlaznih sučelja susjednih usmjerivača.

Ispred statičkih ruta u tablici usmjeravanja stoji oznaka S (eng. Static), ispred direktnih C (eng. Connected), dok se ispred dinamičkih ruta stavlja oznaka protokola usmjeravanja od kojeg je ruta naučena.

Za OSPF (eng. Open Shortest Path First) je oznaka O, za BGP (eng. Border Gateway Protocol) je B, za RIP (eng. Routing Information Protocol) je R, za EIGRP (eng. Enhanced IGRP) je D i EX.

4. Statičke i dinamičke rute

4.1 Statičke rute

U poglavlju 3. Struktura tablice usmjeravanja opisano je kako se statičke rute dobivaju i kako se unose u tablicu usmjeravanja.

Statički algoritmi usmjeravanja dobro reagiraju kod jednostavnih topologija i predvidljivog mrežnog prometa, ali nemaju mogućnost prilagodbe mrežnim promjenama zbog čega nisu primjenjivi u velikim mrežama.

Uobičajeno je da se koristi najmanje jedna statička ruta u tablici usmjeravanja prilikom konfiguracije usmjerivača. Statička putanja sastoji se od mrežne adrese i maske podmreže udaljene mreže, IP adrese sljedećeg usmjerivača u skoku i izlaznog sučelja. Postoje tri strategije kod fiksnog usmjeravanja: određivanje najboljeg puta, preplavljivanje i proizvoljno usmjeravanje.

Najbolji put se određuje na temelju nekih parametara kao što su broj skokova, udaljenost, srednje kašnjenje, ili neki drugi kriterij. Za određivanje najkraćeg puta koristi se Dijkstrin algoritam na način da se određuje udaljenost od izvora do najbližih susjednih čvorova te se onaj sa najmanjom udaljenosti proglašava za stalnu vezu, te se postupak ponavlja za taj čvor prema njegovim susjedima sve do odredišta. Kada se završi proces paket će putovati od izvora do odredišta najkraćom putanjom.

Kod preplavljivanja svaki paket koji pristigne u usmjerivač šalje se na sve linije osim one po kojoj je pristigao. Problem kod preplavljivanje je taj što se stvara velik broj kopija istog paketa i potrebno je naći način kako zaustaviti taj proces. Rješenje je u postavljanju brojača skokova u pakete koji se dekrementira pri svakom prolasku kroz usmjerivače, kada brojač dostigne nulu paket se odbacuje.

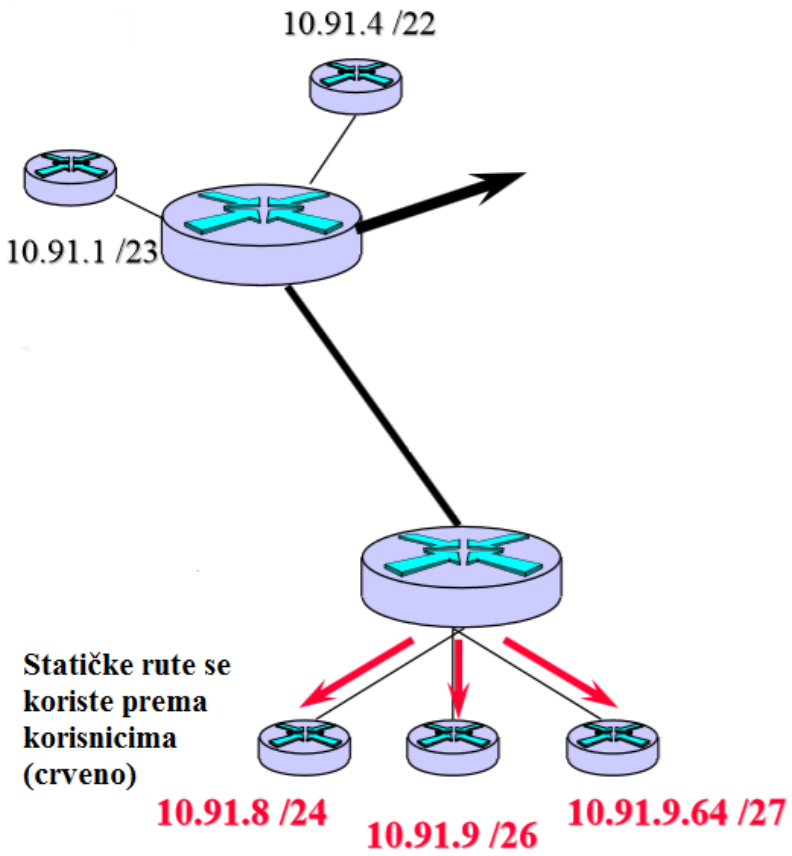
Kod proizvoljnog usmjeravanja usmjerivač odabire samo jednu rutu na koju šalje paket. Ruta se odabire proizvoljno, u slučaju da je vjerojatnost odabira jednaka za više ruta, usmjerivač odabire izlaznu rutu prema *round robin* tehnici.

Prednosti statičkih ruta: rute su sigurnije, lako se konfiguriraju, nisu zahtjevne za sam usmjerivač, dodijeljena ruta pokriva nekoliko mreža.

Nedostaci statičkih ruta su:

- Unos velikog broja ruta u tablicu usmjeravanja u slučaju velikog broja mreža što je problem za mrežnog administratora koji mora sve rute ručno unijeti u tablicu (iako se ne koriste kod velikih mreža).
- Statičke rute nisu otporne na promjene u topologiji mreže zbog nemogućnosti učenja (ako neka mreža otkaže ili promjeni adresu statičke rute neće biti valjane sve dok mrežni administrator ručno ne promjeni rute).
- Izmjena zahtjeva vrijeme i poznavanje topologije, podložne su ljudskim greškama, zahtijeva intervenciju u slučaju problema.

Kao što je prikazano na slici 4, jedna od opcija korištenja statičkih ruta je za slanje ruta između korisničkih usmjerivača koji su manje važnosti i usmjerivača veće važnosti. Ti usmjerivači veće važnosti (najčešće su to usmjerivači ISP-a) rute izmjenjuju dinamičkim rutama.



Slika 4: Jedan način primjene statičkih ruta, [11]

4.2 Dinamičke rute

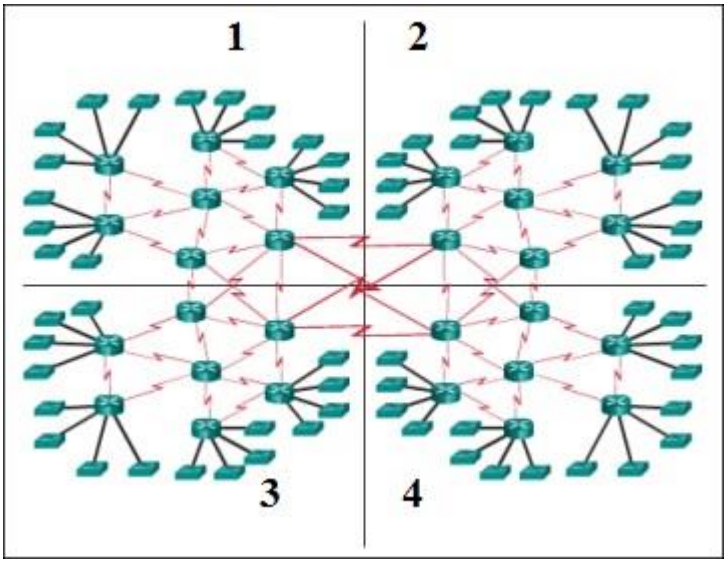
Dinamičke rute prilagođavaju se uvjetima u mreži u stvarnom vremenu prema rezultatima analize poruka ažuriranja. Ako poruka pokazuje promjenu unutar mreže dolazi do proračuna novih ruta i šalju se nove poruke ažuriranja kroz mrežu što izaziva promjenu na nove uvjete kod ostalih usmjerivača. Također, moguće je dinamičke algoritme usmjeravanja nadopuniti statičkim algoritmima u slučaju kada se ne pronađe ruta za određeno odredište pa se paket šalje na unaprijed određeni usmjerivač statičkom rutom. Ovaj princip se naziva posljednji usmjerivač (eng. *router of last resort*).

Dinamičke rute koriste posebne protokole da bi automatski ažurirali svoje tablice usmjeravanja pomoću drugih usmjerivača. Protokoli se dijele u dvije grupe IGP i EGP. IGP se koriste za distribuciju informacija o rutama unutar autonomnih sustava, a protokoli su OSPF i RIP. EGP se koriste za razmjenu informacija o rutama između više autonomnih sustava, tako

da svaki autonomni sustav zna kako doći do pojedinog autonomnog sustava. Primjer ovog protokola je BGP.

Autonomni sustav je sustav usmjerivača unutar jedne domene ili većeg područja pokrivanja koju nadzire jedan mrežni administrator.

Prednosti dinamičkih protokola su: automatsko reagiranje na promjenu u topologiji, manja je vjerojatnost ljudske pogreške jer je potrebno manje ručnog održavanja i konfiguracije. Upravo manje ručnog unosa ruta i konfiguracija je najveća prednost. Na slici 5 je prikazana jedna mreža na kojoj se vidi zašto bi ručni unos ruta bio problem i dugotrajan posao za mrežnog administratora.



Slika 5: Prednost dinamičkih protokola na primjeru mreže usmjerivača, [16]

Nedostatak je povećanje prometa na mreži što dodatno troši resurse usmjerivača, potreba za stručnim mrežnim administratorom.

Kao što je opisano u [9], algoritmi koji se koriste za dinamičke rute prema načinu rada dijele se na:

- protokole vektora udaljenosti (eng. Distance Vector)
- protokole stanja veze (eng. Link State).

4.2.1 Protokoli vektora udaljenosti

Kod protokola vektora udaljenosti svaki usmjerivač u tablici ima informacije o svakom drugom usmjerivaču a te informacije su: najpoželjnija ruta za pojedino odredište, procjena udaljenosti za pojedino odredište prema jednom od kriterija. Ti kriteriji su: broj skokova,

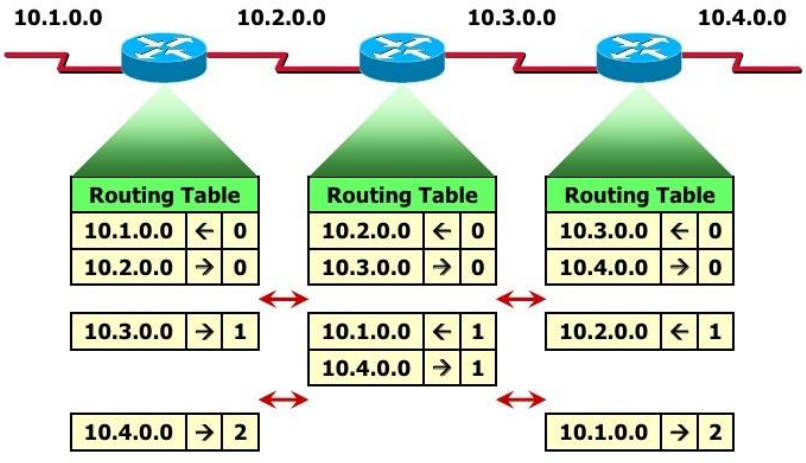
duljina reda čekanja, kašnjenje. Usmjerivači distribuiraju podatke za usmjeravanje međusobno na način da svaki usmjerivač svima ostalima šalje podatke o svojim vezama.

Cijena troška rute je način na koji se odabire ruta kod protokola vektora udaljenosti. Najčešće je to broj skokova od izvora do odredišta. Broj skokova je broj izlaznih sučelja između izvora i odredišta. Informacije o kašnjenju se periodički izmjenjuju između usmjerivača. Kašnjenje se određuje slanjem *ECHO* paketa prema svim susjedima i obavlja se izračun za svakog. Najmanje kašnjenje je najbolja ruta do odredišta.

U praksi je pokazao da je spor, na dobre vijesti reagira brzo a na loše sporo. Osim brzine problem je i propusnost. Protokoli koji spadaju u ovu kategoriju su RIPv1 i RIPv2.

4.2.2 Protokoli stanja veze

Protokoli stanja veze su zamijenili protokole vektora udaljenosti. Svaki usmjerivač zna topologiju mreže i usmjerivači distribuiraju podatke o usmjeravanju tako da svaki šalje LSA (eng. Link State Acknowledgnment) pakete koji sadrže informacije o stanju veze i na temelju tih poruka svaki usmjerivač ponovno računa svoje rute. Kod ovog usmjeravanja usmjerivač prvo otkriva svoje susjede i njihove mrežne adrese, zatim mjeri kašnjenje do svakog susjeda, šalje paket sa svim podacima svim usmjerivačima i izračunava će najbolji put pomoću Dijkstrinog algoritma. Otkrivanje susjeda se postiže slanjem *HELLO* paketa po svim *point-to-point* linijama, usmjerivači odgovaraju svojim IP adresama. Zatim se mjeri kašnjenje pomoću *ECHO* paketa kao i kod protokola vektora udaljenosti. Princip slanja samo dijelova tablice usmjeravanja prikazan je slikom 6.



Slika 6: Princip izmjene dijelova tablice usmjeravanja, [17]

Distribucija paketa odvija se preplavljivanjem, svaki paket protokola vektora udaljenosti sadrži redni broj koji se ikrementira kod slanja svakog novog paketa. Usmjerivači vode evidenciju o svakom paketu koji su vidjeli, ako je paket viđen usmjerivač ga odbacuje.

Protokoli koji spadaju u ovu skupinu su OSPF i ISIS. Ovi protokoli su bolji za veće mreže sa velikim brojem usmjerivača gdje se tablice usmjeravanja izmjenjuju dinamički.

5. Određivanje puta i prosljeđivanje paketa

5.1 Određivanje puta

Dvije osnovne funkcije svakog usmjerivača su usmjeravanje ili određivanje puta i prosljeđivanje (eng. forwarding). Usmjeravanje je proces slanja paketa od izvora do odredišta i provodi se na temelju tablica usmjeravanja sadržanih u memoriji usmjerivača.

Za odabir najbolje rute koriste se razne metrike ili parametri. Neki algoritmi usmjeravanja svoje rute odabiru na temelju jedne metrike, dok napredniji algoritmi mogu kombinirati više metrika tvoreći jednu hibridnu metriku.

Prema [6], metrike koje se koriste prilikom odabira rute su:

- duljina rute
- pouzdanost
- kašnjenje
- propusnost
- opterećenje
- cijena.

Duljina rute je metrika koja se najčešće koristi, postoje dvije izvedbe. Kada se duljina rute računa kao zbroj troškova svih mrežnih veza koje ju čine i kada se koristi broj koraka. Broj koraka jest broj mrežnih uređaja kroz koje paket mora proći na putu od svog izvora do odredišta.

Pouzdanost je sposobnost uređaja da izvrši zadanu funkciju prema točno definiranim uvjetima rada u određenom vremenskom intervalu. U ovom slučaju pouzdanost se odnosi na pouzdanost pojedinih mrežnih veza. Pokazatelj pouzdanosti može biti vrijeme potrebno za povratak u stanje rada nakon ispada zbog kvara. Ocjene pouzdanosti dodjeljuju mrežni administratori u brojčanim vrijednostima.

Kašnjenje je vrijeme potrebno da paket dođe od izvorišta do odredišta. S obzirom da kašnjenje ovisi o velikom broju faktora često se koristi kao metrika. Parametri koji utječu na kašnjenje su: vrijeme propagacije, zagušenost mreže, propusnost, čekanje na usmjeravanje u usmjerivačima itd.

Propusnost je maksimalan iznos protoka podataka putem komunikacijskog kanala. No, u nekim slučajevima veća propusnost ne znači brži dolazak paketa do odredišta. Ponekad link koji ima veću propusnost može imati više prometa i više tokova prometa sa različitim prioritetima (čiji je prioritet veći), što znači da će paket stići na odredište brže ako koristi sporije linkove koji imaju manje prometa.

Opterećenje je stupanj zauzetosti mrežnog resursa, neki od načina računanja opterećenja su zauzetost procesorske jedinice ili broj obrađenih paketa u sekundi. Nadzor ovih parametara zauzima dio resursa.

Cijena označava cijenu prijenosa paketa nekom rutom.

Kod RIP protokola metrika koja se koristi je broj usmjerivača do odredišta, kod EIGRP-a se koristi matematička formula u koju ulaze parametri kao što su protok, kašnjenje, pouzdanost i opterećenje. Hipotetski, može se desiti da se na temelju njihovih metrika dogodi da je cijena koštanja ista, te se dovodi u pitanje koja je veza brža i pouzdanija. Odgovor se dobiva korištenjem administrativne udaljenosti koja govori koja veza ima veću pouzdanost. Što je manja vrijednost administrativne udaljenosti, veća je pouzdanost.

U tablici prema [10] prikazana je administrativna udaljenost za rute:

Tablica 1: Administrativna udaljenost za pojedine protokole usmjeravanja:

Vrsta protokola	Administrativna udaljenost
EIGRP	5
External BGP	20
EIGRP (Internal)	90
OSPF	110
ISIS	115
RIP	120
EIGRP (external)	170

Izvor: [4]

5.2 Prosljeđivanje paketa

Prosljeđivanje je druga osnovna funkcija usmjerivača. To je proces koji se sastoji od sljedećih procesa opisanih u [11]:

- Započinje dekapsulacijom podataka iz paketa odnosno izdvajanje parametara koji se provjeravaju.
- Započinje *checksum* analiza ispravnosti zaglavlja IP paketa.
- Provodi se analiza opcija za IP (*source routing, record route*, i druge).
- Izdvaja se odredišna adresa iz paketa.
- Donosi se odluka o daljnjoj putanji paketa na temelju odredišne adrese i tablice usmjeravanja.
- Ako je slučaj da je usmjerivač odredište, daljnju obradu radi sustav usmjerivača.
- Ako usmjerivač nije odredište sljedeći korak je provedba fragmentacije ukoliko je potrebno.
- Paket se prosljeđuje na točno određeno izlazno sučelje usmjerivača radi daljnjeg prosljeđivanja kroz mrežu (na temelju tablice usmjeravanja).
- Provjera *access* liste na usmjerivaču na kojoj se vidi može li se paket proslijediti ili mora biti odbačen.
- Smanjuje se vrijednost TTL (eng. Time to live) polja, ako je vrijednost 0 paket se odbacuje.

- Na izlaznom sučelju se obavlja enkapsulacija i obavlja se prijenos nekim protokolom.

Paket dolazi na ulazno sučelje usmjerivača. Provodi se proces dekapsulacije i provjeravaju se podaci dobiveni izdvajanjem. Provjerava se ispravnost IP zaglavlja, provjeravaju se IP opcije i izdvaja se odredišna IP adresa, ispituje se njegovo odredište na temelju odredišne IP adrese, zatim se sprema u međuspremnik usmjerivača dok se ne donese odluka kojom rutom usmjeriti paket.

Odluka se donosi na temelju odredišne adrese i podataka iz tablice usmjeravanja. Jednom od metoda se odlučuje kojom rutom će paket ići, sustav usmjerivača obrađuje paket za prijenos, provodi se fragmentaicija ukoliko je potrebno i on se prenosi na određeno izlazno sučelje usmjerivača gdje čeka prijenos. Provjerava se *access* lista i ako se paket može proslijediti smanjuje se vrijednost TTL polja, obavlja se enkapsulacija na izlaznom sučelju i obavlja se prijenos nekim protokolom.

5.3 Usmjeravanje paketa u LAN mrežama

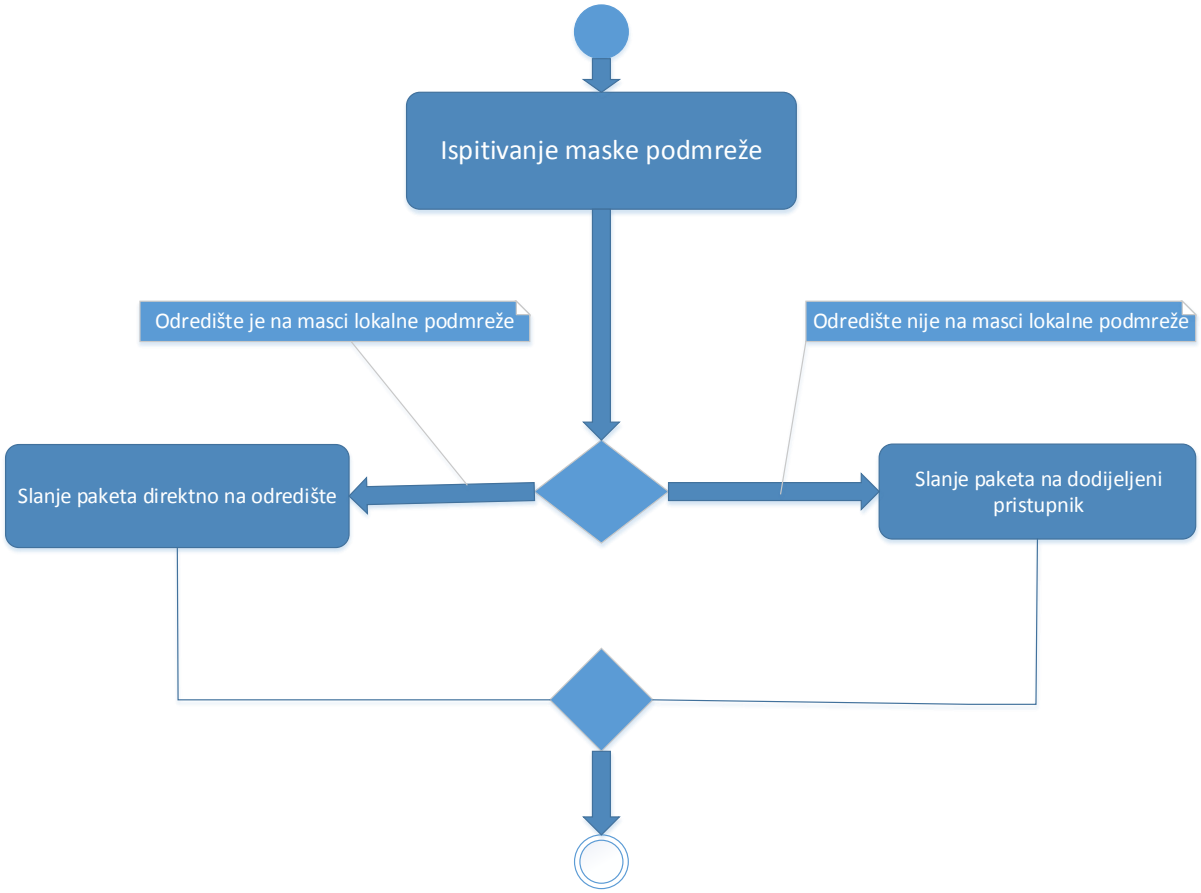
Odluka gdje poslati paket donosi se na temelju tablice usmjeravanja. Čak i računala imaju tablice usmjeravanja, kao i svaki mrežni *host* koji koristi TCP/IP za komunikaciju s mrežom ima vlastitu tablicu usmjeravanja.

S obzirom da se u tablici usmjeravanja nalazi mali broj ruta postavlja se pitanje kako je taj mali broj dovoljan da se paketi šalju po cijelom svijetu.

Proces slanja paketa u [12] opisan je na sljedeći način, a prikazan je slikom 7:

- Ako se odredište ne nalazi na lokalnoj masci podmreže, paketi se šalju na dodjeljeni pristupnik. Ako se nalazi na lokalnoj masci podmreže paket se šalje izravno. Način na koji se određuje je li lokalna podmreža ili ne jest sljedeći: izvorišna i odredišna IP adresa se pretvaraju u binarni oblik, svakoj se dodaje maska podmreže i rezultati se uspoređuju korištenjem AND funkcije.
- Ako rezultati uspoređivanja pokažu da se nalaze na istoj masci podmreže izvor šalje paket direktno bez slanja na dodjeljeni pristupnik. Zatim usmjerivač pregledava svoju tablicu usmjeravanja i gleda na koje izlazno sučelje treba poslati paket. Prije slanja izvor mora saznati MAC adresu odredišta. Za to se koristi ARP protokol koji šalje broadcast poruku na lokalnu podmrežu. Zbog te poruke odredišna MAC adresa je FF-FF-FF-FF-FF-FF, a svi *host*ovi na lokalnoj podmreži primaju paket. ARP paket također sadrži adresu odredišta. Kada jedan od hostova prepozna da je njegova adresa ista onoj u paketu, šalje odgovor u obliku MAC adrese i paket se može poslati. Paket sadržava sljedeće podatke: IP adresu izvora i odredišta, MAC adresu izvora i odredišta.

- Ako rezultati uspoređivanja pokažu da se ne nalaze na istoj masci podmreže, izvor šalje paket na dodijeljeni pristupnik čiju MAC adresu saznaje slanjem ARP paketa u masku lokalne podmreže. Kada se sazna adresa, paket se šalje i kada paket stigne na neki dodijeljeni pristupnik ili među usmjerivač on vidi da njegova i odredišna IP adresa nisu iste (jer paket sadrži podatke: IP adresa izvora, IP adresa konačnog odredišta, MAC adresa izvora i MAC adresa dodijeljenog pristupnika) te koristiti svoju lokalnu tablicu usmjeravanja. Ako vidi da je odredište povezano na neko njegovo sučelje, ARP protokolom saznaje njegovu MAC adresu i šalje se paket koji sadrži IP i MAC adrese izvora i odredišta.



Slika 7: Proces usmjeravanja paketa u LAN mrežama

6. Komparacija značajki protokola usmjeravanja

6.1 Značajke protokola usmjeravanja

Prema [6], karakteristike koje opisuju pojedini protokol usmjeravanja su sljedeće:

- optimalnost
- jednostavnost
- robusnost i stabilnost
- brza konvergencija
- prilagodljivost.

Optimalnost je sposobnost usmjerivača da odabere najbolju rutu ovisno o metrici koja se koristi. U slučaju hibridne metrike odnosno kombinacije dvije ili više metrika algoritmi moraju imati točno definirane procedure u kojima se zna koja metrika je važnija u procesu odabira rute.

Jednostavnost je bitna karakteristika algoritama za usmjeravanje jer oni moraju svoju točno definiranu zadaću obavljati efikasno i jednostavno zauzimajući što manje resursa usmjerivača.

Robusnost je svojstvo algoritma da obavlja svoju funkciju uspješno u uvjetima nepredvidljivih kvarova, visokog opterećenja ili pogreške u implementaciji.

Brza konvergencija sprječava stvaranje beskonačnih petlji i ispade mreže na način da usmjerivači izmjenjuju podatke o rutama kroz mrežu te kada jedan usmjerivač ispadne, ostali dobiju tu informaciju i rute se ponovno računaju da bi dobili optimalni raspored. Cilj je da se svi usmjerivači brzo slože oko najbolje rute.

Prilagodljivost je sposobnost brzog prilagođavanja raznim događajima u mreži kao što su promjene propusnosti mreže, redovi čekanja u pojedinim usmjerivačima, kašnjenje, itd.

6.2 Vrste protokola usmjeravanja

Kao što je opisano u [6], algoritmi usmjeravanja dijele se na:

- statičke i dinamičke
- algoritme s jednom ili više ruta
- jednorazinske i hijerarhijske
- izvorišno usmjeravanje i usmjeravanje usmjerivačima
- unutar domene i među domenama
- protokoli vektora udaljenosti i stanja veze.

Statički i dinamički algoritmi usmjeravanja spomenuti su ranije u poglavlju 4. Statičke i dinamičke rute, ukratko statički algoritmi su dobri za manje mreže jednostavnijih topologija, u uvjetima predvidljivog prometa. Koriste se tablicom usmjeravanja koji ispunjava i ažurira

mrežni administrator. Dinamički algoritmi se prilagođavaju uvjetima u mreži na temelju poruka koje izmjenjuje sa drugim usmjerivačima. Ukoliko dolazi do promjene svi usmjerivači se prilagođavaju novonastalim uvjetima.

Algoritmi usmjeravanja sa jednom rutom podržavaju jednu rutu do odredišta, dok algoritmi sa više ruta omogućavaju više ruta na način da se multipleksira prijenos podataka preko više ruta. Prednosti ovog načina su veća propusnost i pouzdanost.

Kod jednorazinskih algoritama usmjeravanja svi su usmjerivači jednake važnosti, dok se kod hijerarhijskih algoritama usmjerivači dijele u dvije skupine, lokalne i jezgrene. Paket sa lokalnih usmjerivača ide na jezgrene kojima se prenosi sve od odredišta gdje se opet vraća lokalnim usmjerivačima koji ga prosljeđuju do odredišta.

Kod izvorišnog usmjeravanja rutu paketa odabire izvor, dok kod usmjeravanja usmjerivačima svaki usmjerivač odabire rutu od izvora prema odredištu.

Algoritmi usmjeravanja unutar domene provode usmjeravanje unutar domena, dok algoritmi usmjeravanja među domenama provode usmjeravanje između različitih domena.

Protokoli stanja veze izmjenjuju podatke za usmjeravanje tako da svaki usmjerivač šalje svim ostalima podatke o svojim vezama, dok protokoli vektora udaljenosti dijele svoju tablicu usmjeravanja sa susjednim usmjerivačima.

6.3 Opis protokola usmjeravanja

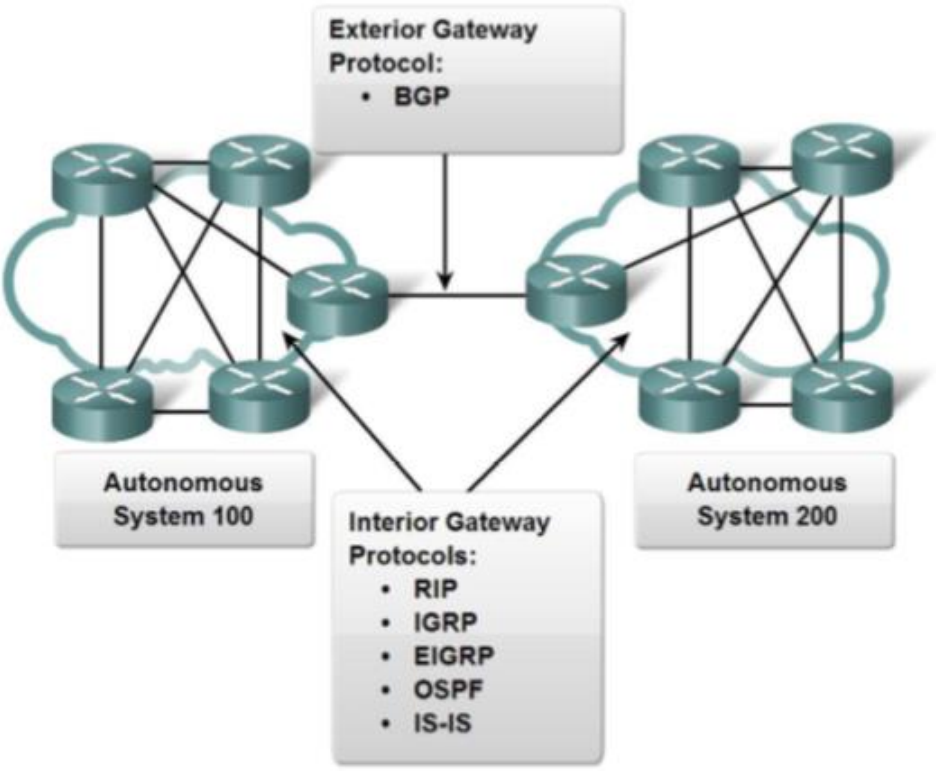
IP usmjeravanje se odnosi na skup protokola koji omogućavaju usmjeravanje paketa preko većeg broja mreža. Protokoli koji spadaju u tu skupinu su: BGP, IS-IS, OSPF, RIP.

6.3.1 Autonomni sustavi

Prema [6], da bi se olakšalo i ubrzalo usmjeravanje, Internet je podijeljen u autonomne sustave (AS), a oni su u biti skup usmjerivača koji korist isti protokol. Autonomni sustavi dijele se u tri skupine:

- Ogranak (eng. stub AS) kod kojeg svi paketi putuju jednim liknom ukoliko im je odredište izvan AS jer je ogranak povezan samo s jednim drugim AS.
- Prijelazni AS ima više veza s drugim autonomnim sustavima te njime prolaze paketi čije je odredište u nekom drugom AS.
- Višestruko povezani AS (eng. *multihomed*) povezan je s više autonomnih sustava, ali ne dopušta prosljeđivanje paketa primljenih iz vanjskih AS.

Na slici 7 se vidi podjela protokola kod autonomnih sustava.



Slika 8: Prikaz podjele protokola kod autonomnih sustava, [4]

Kao što je vidljivo iz slike 7, EGP i IGP protokoli zajedno djeluju tijekom prijenosa podataka na način da EGP protokol određuje autonomne sustave koje paket treba proći da bi došao do odredišta dok IGP protokoli usmjerava pakete unutar pojedinog autonomnog sustava, [6].

EGP protokol je BGP, dok su IGP protokoli: IS IS, OSPF, IGRP (eng. Interior Gateway Routing Protocol), EIGRP i RIP.

6.3.2 Border Gateway Protocol

BGP je protokol vektora udaljenosti, EGP protokol, koji se koristi za usmjeravanje između autonomnih sustava.

Postoje dvije izvedbe BGP protokola, EBGP (eng. External BGP) koji se koristi između dva i više autonomna sustava i IBGP (eng. Interior BGP) koji se koriste unutar jednog autonomnog sustava. BGP protokol je trom zbog velikih tablica usmjeravanja koje mogu imati i više od 100 000 ruta iako zbog toga ne treba često računati rute u slučaju ispada pojedinih lokalnih mreža [6].

BGP koristi TCP protokol za prijenos poruka o usmjeravanja između usmjerivača. Prilikom prve komunikacije izmjenjuju se kompletne BGP tablice usmjeravanja, a nakon toga izmjenjuju se samo izmjene.

6.3.3 Intermediate System to Intermediate System

ISIS (eng. Intermediate System to Intermediate System) je protokol stanja veze dizajniran od strane ISO (eng. International Organization for Standardization) i pripada IGP protokolima čija je svrha usmjeravanje unutar autonomnog sustava. ISIS je protokol stanja veze kod kojega svi usmjerivači imaju podatke cijeloj topologiji mreže. Na temelju znanja o cijeloj topologiji mreže rute se proračunavaju od izvora do odredišta korištenjem SPF (eng. Shortest Path First) ili Dijkstra algoritmom.

Značajke ISIS protokola su:

- računanjem novih ruta prilagođava se promjenama u mrežnoj topologiji
- moguće usmjeravanje preko više ruta istog troška
- moguće usmjeravanje na dvije hijerarhijske razine
- podrška za autorizaciju usmjerivača [6].

6.3.4 Open Shortest Path First

OSPF je protokol stanja veze, hijerarhijski IGP protokol čije su specifikacije javne i mogu ga koristiti svi proizvođači mrežnih uređaja, i ima mogućnost komunikacije sa drugim autonomnim sustavima. Dizajniran je od strane IETF (eng. Internet Engeneering Task Force). Najčešći IGP protokol kod velikih računalnih mreža je upravo OSPF. Koristi se Dijkstra SPF algoritmom za proračunavanje ruta i koristi MD5 (eng. Message Digest algorithm 5) algoritam za provjeru autentičnosti usmjerivača.

OSPF šalje LSA obavijesti svim usmjerivačima unutar iste hijerarhije jedino u slučaju promjene u mrežnoj topologiji. Metrika se dobiva formulom koja govori da je cijena puta obrnuto proporcionalna pojasnoj širini neke veze, [13]. Referentna pojasna širina je 100 Mb/s čijim je dijeljenjem sa određenom pojasnom širinom dobiven OSPF trošak. Na primjer, ako je pojasna širina 10 Mb/s, OSPF trošak iznosi 10.

$$C = \frac{10^8}{Pojasna\ širina\ (\frac{bit}{s})}$$

Prema [13], topološka baza sadrži skup LSA-ova svih usmjerivača na istom području ili sustavu. Ona se nalazi u graničnim usmjerivačima. Ta topologija je vidljiva samo onima koji su u tom području i zbog toga se usmjeravanje dijeli na intraprostorno kada su izvor i odredište u istom području i interprostorno kada su u različitom području.

Tada se usmjeravanje odvija preko područja jezgrene mreže OSPF-a. Sva područja moraju biti povezana na područje jezgrene mreže u kojem svaki usmjerivač zna topologiju cijele mreže. U slučaju više usmjerivača nepotreban promet se eliminira proglašavanjem glavnog i

pomoćnog glavnog za taj dio OSPF mreže. Svi ostali usmjerivači šalju samo njima, a oni preplavljivaju mrežu slanjem informacija za ostale usmjerivače.

Postoji nekoliko tipova OSPF paketa, [10]:

- *Hello*- se pri uspostavljanju i održavanju veze sa susjednim OSPF usmjerivačima. Koristi se kod izbora DR i BDR.
- *Database description*- sadrži manju listu zapisa koji se provjeravaju sa glavnom bazom.
- *Link state request (LSR)*- prijemni usmjerivači koriste ovaj paket za izvršavanje upita nad bazom.
- *Link state update (LSU)*- koristi se kao odgovor na LSR i ažuriranje novim informacijama.
- *Link state acknowledgement (LSA)*- potvrda da je LSU paket primljen.

Kod OSPF protokola postoji tri tipa tablica, [10]:

- Tablica susjeda (eng. neighbor table) – sadrži informacije o usmjerivačima sa kojima dijeli link na mreži.
- Tablica topologije (eng. topology table) – sadrži informacije o svim mrežama i putevima do njih. Svi LSA se zapisuju u ovu tablicu.
- Tablica usmjeravanja (eng. routing table) – ažurira se nakon pokretanja algoritma nad tablicom topologije i sadrži rute sa najboljom metrikom.

6.3.5 Interior Gateway Routing Protocol

IGRP je protokol vektora udaljenosti tvrtke Cisco a razlog njegova razvijanja je želja za prevladavanjem ograničenja RIP protokola u vidu broja koraka kod usmjeravanja. Kod IGRP protokola koriste se višestruke metrike: propusnost, opterećenje, kašnjenje, MTU i pouzdanost.

Ove metrike se stapaju u jednu korištenjem sljedeće formule:

$$Metrika = [K1 * propusnost + (K2 * propusnost)/(256 - opterećenje) + K3 * kašnjenje] * [K5 / (pouzdanost + K4)]$$

Početne vrijednosti $K1$ i $K3$ su 1, a $K2$, $K4$, $K5$ su 0. U slučaju da se koriste početne vrijednosti, dio formule u kojem se nalazi $K5$ se ne koristi, što smanjuje formulu za metriku na (pojednostavljeno) propusnost + kašnjenje. Opterećenje se mjeri od 1 do 255 gdje je 255 iskorišenje 100%, a 1 najmanje iskorištenje.

Maksimalan broj koraka usmjeravanja je 255. Kod IGRP protokola mrežni administratori mogu postaviti neku od postojećih statičkih ruta kao uobičajenu rutu, a ako je postavljeno više takvih ruta usmjerivač odabire najbolju ovisno o zadanim metrikama, [6].

6.3.6 Enhanced Interior Gateway Routing Protocol

EIGRP je napredna verzija IGRP protokola usmjeravanja tvrtke Cisco. EIGRP je hibridni protokol usmjeravanja jer stvara odnose sa susjednim usmjerivačima kao protokoli stanja veze, a oglašava svoje rute kao protokoli vektora udaljenosti. Metrika mu se temelji na protoku, kašnjenju, opterećenju i pouzdanosti, a metrika se računa koristeći protok i kašnjenje paketa. Koristi DUAL (eng. Diffusing Update ALgorithm) algoritam za odabir najbolje rute, a paketi se prenose RTP (eng. Real- time Transport Protocol) protokolom, [6], [10].

Protokol šalje djelomična ažuriranja koja uključuju promjenu ruta i ta informacije se šalje samo onim usmjerivačima kojima je ta informacija potrebna.

EIGRP koristi pet tipova paketa [10]:

- *Hello*- koriste se za otkrivanje susjeda
- *Update*- šalju se kada se dogodi promjena u mreži
- *Ack*- potvrda Update paketa
- *Querry*- pronalazi alternativne putanje kada su sve ostale nevaljale
- *Replay*- odgovor na *Querry* paket.

EIGRP protokol, kao i prethodno spomenuti OSPF također ima tri tablice: susjeda, topologije i usmjeravanja. U tablici susjede nalaze se svi usmjerivači koji se nalaze u istoj mreži. U tablici topologija nalaze se sve rute do svih mreža, a u tablici usmjeravanje nalaze se najbolje rute do određene mreže.

Prema [4], EIGRP protokol ima četiri osnovne komponente i tri funkcionalnosti koje ga čine pogodnim za korištenje u velikim mrežama.

Komponente su:

- *Neighbor Discovery/ recovery*- način kojim usmjerivači dobivaju informacije koje posjeduju ostali usmjerivači
- *Reliable Transport Protocol*- odgovoran je za garanciju dostave EIGRP paketa susjednim usmjerivačima
- *DUAL Finite State Machine*- algoritam za izbor najbolje rute do svake udaljene mreže
- *Protocol Dependent Modules.*

Funkcionalnost pronalaženja i održavanja ruta, kao i podrška za više autonomnih sustava na jednom usmjerivaču uz podršku za VLSM (eng. Variable Lenght Subnet Masking) i sumarizaciju ruta čini ovaj protokol pogodnim za korištenje u velikim mrežama.

6.3.7 Routing Information Protocol

RIP je najstariji usmjerivački protokol koji se koristi na Internetu, komercijalna uporaba ovog protokola započela je 1980-ih godina. Danas se češće koristi na internim računalnim mrežama, a rjeđe kod mreža povezanih na Internet. Smatra se da je zastario pa su njegovu ulogu preuzeli protokoli kao što su OSPF i ISIS.

RIP je protokol vektora udaljenosti koji koristi broj koraka kao metriku, a broj koraka označava broj usmjerivača koje paket treba proći od izvora do odredišta. RIP šalje svakih 30

sekundi svoju tablicu usmjeravanja svojim susjedima. Kada usmjerivač dobije poruku u koji je vidljiva promjena, mijenja svoju tablicu usmjeravanja za tu rutu i uvećava vrijednost metrike za 1, te nakon nadogradnje svoje tablice usmjerivač informira susjedne usmjerivače o promjeni. Maksimalno je moguće 15 koraka, [6].

Kada usmjerivač zabilježi prekid, on u svojoj tablici usmjeravanja postavlja vrijednost metrike na 16 i takvu tablicu usmjeravanja šalje svojim susjedima. Svakih 30 sekundi RIP usmjerivači šalju poruke ažuriranja, ako nakon 180 sekundi ne dobije potvrdu nekog smjera iz tablice, postavlja broj skokova na 16. Ako ne dođe potvrda u idućih 180 sekundi smjer se briše iz tablice, [10].

Prema [13], ovaj protokol je razvio niz dodataka koji su omogućili veću stabilnost prilikom promjena u topologiji mreže:

- Podjela obzorja (eng. Split Horizons)- ne šalje se informacija o smjerovima u onaj smjer iz kojeg je informacija stigla čime se sprječavaju usmjerivačke petlje između usmjerivača.
- Zadržavanje promjene izbrisanih smjerova (eng. Poison Reverse Updates)- zbog veličine mreže može se desiti da novonastalo stanje mreže zna određen broj usmjerivača, dok do drugog dijela ta informacija nije stigla. Ukoliko usmjerivač koji još ne zna novo stanje mreže pošalje svoju tablicu usmjeravanja usmjerivaču koji zna pravo stanje, on neće ažurirati svoju tablicu na temelju njegove nego će pričekati i neko vrijeme zadržati promjenu.
- Ažuriranje prekinutih smjerova (eng. Poison Reverse Updates)- pronalaze i brišu smjerove koji stvaraju usmjerivačke petlje između tri ili više usmjerivača.

Postoje dvije verzije ovog protokola. RIPv1 koji ne podržava podjelu adrese na podmreže (*classfull*). On ne šalje masku podmreže prilikom slanja, već pretpostavlja da je maska ona koja je konfigurirana na izlaznom sučelju ili sumarizira onu koja je na klasnoj granici (granični usmjerivači sumariziraju podmreže jedne klasne mreže kada objavljuju preko druge klasne mreže). Koristi metriku *hop count*, više od 15 skokova nije dostupno.

RIPv2 koji podržava podjelu adrese na podmreže (*classless*) i *hop count* je jedina metrika, koristi *split horizon*. U porukama osim komande, polja za verziju i *must be zero* polja postoje polja za masku podmreže i *next hop* adresu.

6.3.8 Komparacija značajki protokola

Prikaz značajki protokola usmjeravanja dat je u poglavlju 6.1 Komparacija značajki s obzirom na definirane kriterije (optimalnost, jednostavnost, robusnost, konvergencija, prilagodljivost i princip) prikazana je u tablici 2.

Kako je definirano u spomenutom poglavlju optimalnost predstavlja sposobnost usmjerivača da odabere najbolju rutu ovisno o metrici koja se koristi. Načini kako se određuje metrika ovisi o vrsti protokola, a kako je vidljivo iz tablice 2 za većinu protokola razvijena je formula, dok za protokol RIP postoji samo jedna metrika.

Kriterij komparacije jednostavnost je bitna karakteristika algoritama za usmjeravanje jer oni moraju svoju zadaću obavljati efikasno tj. na način da zauzimaju što manje resursa usmjerivača. Što se tog kriterija tiče OSPF, IGRP i RIP protokoli su bolji od BGP, ISIS i EIGRP protokola.

Robusnost je sposobnost ispravnog rada u nepredviđenim okolnostima. S ovom karakteristikom jedino RIP protokol ima problema, što ne čudi jer je on najstariji protokol i novi poboljšani protokoli kreirani su da isprave njegove nedostatke.

S obzirom da su protokoli usmjeravanja sa sporom konvergencijom skloni stvaranju beskonačnih petlji što dovodi do ispada mreže, ne čudi da gotovo svi protokoli dijele informacije o promjenama u mreži. RIP protokol ne dijeli te informacije, dok BGP sporo dijeli navedene informacije zbog velikog broja ruta koje sadrži zbog čega sporo dijeli informacije.

Nakon dijeljenja informacija o promjeni u mreži, bitno je koliko brzo dolazi do prilagodbe na nove uvijete u mreži. Kao i kod kriterija komparacije kovergencija, protokoli RIP i BGP se slabije prilagođavaju od ostalih protokola koji to čine na zadovoljavajući način. Kod RIP protokola potrebna je intervencija mrežnog administratora da bi došlo do prilagodbe, dok BGP protokol ne šalje često ažurirajuće poruke, pa ni prilagodba nije na razini ostalih protokola.

Što se tiče principa, može se vidjeti pored protokola čiji se rad temelji na vektoru udaljenosti (tri analizirana protokola) i na stanju veze (dva analizirana protokola) koriste i tzv. hibridni protokoli.

Primjena je kriterij koji govori o tome koristi li se protokol za usmjeravanje paketa između autonomnih sustava ili za usmjeravanje unutar pojedinog autonomnog sustava, tako je jedino BGP protokol EGP tipa, dok su ISIS, OSPF, IGRP, EIGRP i RIP protokoli IGP.

Tablica 2: Komparativna analiza značajki protokola usmjeravanja

Protokol	Optimalnost	Jednostavnost	Robusnost	Konvergencija	Prilagodljivost	Princip	Primjena
BGP		Zauzima puno resursa usmjerivača	Sadrži puno ruta pa je stabilan iako sporo dijeli informacije	Sporo dijeli informacije o promjeni	Nisu učestale izmjene ruta	Protokol vektora udaljenosti	EGP
ISIS		Svi znaju sve-opterećuje usmjerivač	Stabilan	Dijeli informacije	Prilagođava se promjenama	Protokol stanja veze	IGP
OSPF	Za metriku se koristi formula	Da (zbog hijerarhije)	Stabilan	Dijeli informacije	Prilagođava se promjenama	Protokol stanja veze	IGP
IGRP	Koristi se forumula	Jednostavan	Stabilan	Dijeli informacije	Prilagođava se promjenama	Protokol vektora udaljenosti	IGP
EIGRP	Koristi se formula	Šalju se samo promjene samo onima kojima su potrebne	Stabilan	Dijeli informacije	Prilagođava se promjenama	Hibrid	IGP
RIP	Jedna metrika	Jednostavan	Slaba do reakcije administratora	Ne dijeli informacije	Administator mora prilagoditi	Protokol vektora udaljenosti	IGP

7. Zaključak

Usmjerivač ima glavnu ulogu u procesu usmjeravanja paketa kroz mrežu zbog svojih funkcija usmjeravanja i prosljeđivanja, kao i kontrole pristupa, segmentacije i alokacije propusnog opsega. Te funkcije omogućavaju da paket stigne od izvora do odredišta putujući kroz mrežu.

Usmjeravanje se provodi brzo i efikasno zbog tablica usmjeravanja u kojima se nalaze podaci o rutama koje se koriste da bi se slali paketi, ona se nalazi u RAM memoriji usmjerivača. Postoje dvije verzije ruta koje se nalaze u njoj, a to su statičke i dinamičke (uz povezane) i svaka se označava u tablici drugačije.

Statičke rute su one koje su unesene u tablicu usmjeravanja od strane mrežnog administratora i on ih jedini može izmijeniti jer nemaju mogućnost učenja o stanju mrežne topologije i stanju pojedinih ruta. Dinamičke rute imaju tu mogućnost učenja i mogu samostalno mijenjati svoje tablice usmjeravanja uz pomoć protokola, što je dobra stvar u današnje vrijeme gdje je sve više uređaja i mreža spojeno na Internet.

Razlika između protokola stanja veze i vektora udaljenosti je ta što protokoli stanja veze šalju poruke ažuriranja poruke na mnogo adresa samo kada dođe do promjene u mreži i šalje samo promjene a ne cijelu tablicu usmjeravanja, dok protokoli vektora udaljenosti šalju veće poruke ažuriranja samo susjednim usmjerivačima.

Određivanje puta je postupak odabira najbolje rute od izvora do odredišta. Najbolja ruta izabire se na temelju metrika ili kriterija odabira. Prosljeđivanje je postupak pripreme paketa za slanje kroz mrežu prema odredištu.

Značajke protokola usmjeravanja su karakteristike koje opisuju svaki pojedini protokol usmjeravanja. Svaki protokol usmjeravanja ima svoje specifičnosti koje ga razlikuju od ostalih, što se vidi u komparaciji značajki protokola.

Popis literature

1. Mrvelj Š. Promet u Internet mreži. Prezentacija kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa 1
2. Uloga i konfiguracija mrežnog usmjerivača (rutera), specijalistički rad. Izvor: http://weblibrary.apeiron-uni.eu:8080/WebDokumenti/10041-uvod.pdf (31.7.2015.)
3. Request For Comment. Requirements for IP version 4 Routers. Izvor: https://tools.ietf.org/html/rfc1812 (31.7.2015.)
4. Nedeljković A, Đurović M, Rujević D. Analiza protokola rutiranja. Izvor: http://alas.matf.bg.ac.rs/~mi09036/files/GrupniRadMSNR.pdf (31.7.2015.)
5. Cisco. Instructions to Routing and Packet Forwarding: Routing Protocols and Concepts. Izvor: http://www.hh.se/download/18.2515361d1351369447180007734/routing (31.7.2015.)
6. CARNet. Osnove mrežnog usmjeravanja. Izvor: http://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-02-183.pdf (31.7.2015.)
7. ETFOS. Usmjeravanje paketa u IP mrežama. Komunikacijske mreže. Vježba 3: Sloj mreže. Izvor: https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/287499/mod_resource/content/1/Laboratorijska_vjezbe_2013/KM_LV3_2013_-_Sloj_mreze_-_Usmjeravanje.pdf (31.7.2015.)
8. ITGeared. What is a Network Router. Izvor: http://www.itgeared.com/articles/1352-network-router-overview/ (31.7.2015.)
9. Računske mreže i komunikacija. Izvor: http://book.tsp.edu.rs/mod/page/view.php?id=791 (31.7.2015.)
10. IT modul. Rutiranje i protokoli za rutiranje. Izvor: http://www.it-modul.rs/10/2012/rutiranje-i-protokoli-za-rutiranje/ (31.7.2015.)
11. Krajnović N. Rutiranje osnove. Izvor: http://telekomunikacije.etf.bg.ac.rs/predmeti/ot4ai/rutiranje-osnove.pdf (31.7.2015.)
12. ITGeared. How IP packets are routed on a LAN network. Izvor: http://www.itgeared.com/articles/1054-how-ip-packets-are-routed-on-local-area/ (31.7.2015.)
13. CARNet. Računalne mreže: Usmjeravanje i usmjerivački protokoli. Izvor: http://sistemac.carnet.hr/node/650 (31.7.2015.)
14. MarsMerhot.dk [slika na Internetu]. Dostupno na: http://mars.merhot.dk/mediawiki/images/7/75/ScreenShot706.jpg (31.7.2015.)
15. ThinkLikeAComputer.com [slika na Internetu]. Dostupno na: http://think-like-a-computer.com/files/2011/06/routing_table1.png (31.7.2015.)
16. CiscoPress.com [slika na Internetu]. Dostupno na: http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2180210&seqNum=5 (31.7.2015.)
17. SlideShare.net. Slika sa prezentacije NETPRO IT Academy. [slika na Internetu]. Dostupno na: http://www.slideshare.net/neokim/ca-ex-s2-m04-distance-vector-routing-protocols (31.7.2015.)

Popis ilustracija

Slika 1: Uloga usmjerivača u povezivanju mreža, izvor: [5]

Slika 2: Proces usmjeravanja od izvora do odredišta, izvor: [14]

Slika 3: Izgled tablice usmjeravanja, izvor: [15]

Slika 4: Jedan način primjene statičkih ruta, izvor: [11]

Slika 5: Prednost dinamičkih protokola na primjeru mreže usmjerivača, izvor: [16]

Slika 6: Princip izmjene dijelova tablice usmjeravanja, izvor: [17]

Slika 7: Proces usmjeravanja paketa u LAN mrežama

Slika 8: Prikaz podjele protokola kod autonomnih sustava, izvor: [4]

Popis kratica

IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
TCP.	Transfer Control Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
IGMP	Internet Group Management Protocol
IMP	Interface Message Processor
MTU	Maximal Transimission Unit
OSI	Open System Interconnection
RAM	Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
NVRAM	Non Volatile Random Access Memory
ISDN	Integrated Services Digital Network
DSL	Digital Subscriber Line
OS	Operative System
WAN	Wide Area Network
MAC	Media Access Control
IGP	Interior Gateway Protocols
EGP	Exterior Gateway Protocols
NPDU	Network Protocol Data Unit
ES	End System
IS	Intermediate System
NSAP	Network Service Access Point
NET	Network Entity Title
MPLS	Multiprotocol Label Switching
ISP	Internet Service Provider
OSPF	Open Shortest Path First
BGP	Border Gateway Protocol
RIP	Routing Information Protocol
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol

ISIS	Intermediate System to Intermediate System
TTL	Time to Live
ARP	Address Resolution Protocol
AS	Autonome system
LSA	Link State Acknowledgnment
SPF	Shortest Path First
IETF	Internet Engeneering Task Force
MD5	Message Diegest algorithm 5
LSR	Link State Request
LSU	Link State Update
DUAL	Diffusing Update ALgorithm
RTP	Real- time Transport Protocol
VLSM	Variable Lenght Subnet Masking

Popis tablica

Tablica 1: Administrativna udaljenost za pojedine protokole usmjeravanja, izvor: [4]

Tablica 2: Komparativna analiza značajki protokola usmjeravanja