

Protokoli dinamičkog usmjeravanja

Barišić, Stjepan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:029323>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni studij

PROTOKOLI DINAMIČKOG USMJERAVANJA

Diplomski rad

Stjepan Barišić

Osijek, 2023.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 15.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

| | |
|--|---|
| Ime i prezime Pristupnika: | Stjepan Barišić |
| Studij, smjer: | Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Komunikacije i informatika |
| Mat. br. Pristupnika, godina upisa: | D-1216, 06.10.2019. |
| OIB studenta: | 17853980785 |
| Mentor: | izv. prof. dr. sc. Višnja Križanović |
| Sumentor: | . |
| Sumentor iz tvrtke: | |
| Predsjednik Povjerenstva: | izv. prof. dr. sc. Krešimir Grgić |
| Član Povjerenstva 1: | izv. prof. dr. sc. Višnja Križanović |
| Član Povjerenstva 2: | mr. sc. Anđelko Lišnjić |
| Naslov diplomskog rada: | Protokoli dinamičkog usmjeravanja |
| Znanstvena grana diplomskog rada: | Telekomunikacije i informatika (zn. polje elektrotehnika) |
| Zadatak diplomskog rada: | Dinamičko usmjeravanje je postupak u kojem usmjerivač može prosljeđivati podatke putem druge rute ili određenog odredišta na temelju trenutnih uvjeta komunikacijskih ruta unutar sustava. Dinamičko usmjeravanje omogućuje da što više ruta ostane valjano kao odgovor na promjenu, poput gubitka čvora ili veze između čvorova, ako su dostupni drugi izbori ruta. U radu je potrebno opisati, implementirati na usmjerivaču i dati usporedbu protokola dinamičkog usmjeravanja. (Ova tema je rezervirana: Stjepan Barišić) |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada): | Izvrstan (5) |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina |
| Datum prijedloga ocjene od strane mentora: | 15.09.2023. |
| Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada: | <i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i> |
| | Datum: |

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 27.09.2023.

Ime i prezime studenta:

Stjepan Barišić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Komunikacije i informatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1216, 06.10.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Protokoli dinamičkog usmjeravanja**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Višnja Križanović

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. Razlika između statičkog i dinamičkog usmjeravanja | 2 |
| 2.1. Statičko usmjeravanje | 6 |
| 2.2. Dinamičko usmjeravanje | 7 |
| 3. Protokoli dinamičkog usmjeravanja | 8 |
| 3.1. Protokoli na temelju algoritma vektora udaljenosti..... | 9 |
| 3.2. Protokoli na temelju algoritma stanja veze..... | 11 |
| 3.3. Klasni protokoli usmjeravanja | 11 |
| 3.4. Besklasni protokoli usmjeravanja..... | 12 |
| 3.5. Konvergencija | 13 |
| 3.6. Metrika..... | 13 |
| 3.7. Administrativna udaljenost | 15 |
| 3.8. Važnost protokola usmjeravanja | 17 |
| 3.9. RIP protokol..... | 18 |
| 3.9.1. Unicast..... | 19 |
| 3.9.2. Multicast | 19 |
| 3.9.3. Broadcast | 19 |
| 3.10. EIGRP protokol..... | 20 |
| 3.11. OSPF protokol..... | 20 |
| 4. Testiranje na opremi i analiza rezultata | 22 |
| 4.1. Testiranje na opremi | 24 |
| 4.2. Usporedba rezultata RIP i OSPF..... | 36 |
| 5. Zaključak | 37 |
| LITERATURA | 39 |
| SAŽETAK | 40 |
| ABSTRACT | 40 |
| ŽIVOTOPIS | 41 |

1. UVOD

Zahvaljujući modernizaciji društva prethodnih je godina vidljiv značajan napredak u razvoju mrežne opreme. Podatkovne mreže nametnule su se kao sastavni dio ljudske svakodnevice koji omogućuje različite aktivnosti poput učenja, igranja videoigara ili obavljanja poslovnih dužnosti. Kada je riječ o klasifikaciji podatkovnih mreža, najučestalija podjela bila bi ona na manje, lokalne i veće, globalne mreže. Uloga povezivanja svih uređaja u lokalnu mrežu, što ujedno omogućuje pristup internetu, pripala je usmjerivačima. Svako kućanstvo najčešće sadrži usmjerivač te dva ili više računala dok u poslovnoj okolini organizacije mogu imati više usmjerivača i preklopnika kako bi se osigurala podatkovna komunikacija stotina ili tisuća računala. Usmjerivači se koriste za prosljeđivanje (engl. *forwarding*) paketa na mrežnom sloju OSI modela. Uz to što usmjeravaju pakete, usmjerivači pohranjuju podatke iz mreže preko statičkih i dinamičkih protokola usmjeravanja.

Predmet proučavanja ovog rada je uloga dinamičkih protokola usmjeravanja u podatkovim mrežama. Sadržaj rada za cilj ima objasniti što dinamički protokoli usmjeravanja jesu, koje su vrste istih, prednosti dinamičkih protokola usmjeravanja nad statičkim te usporedba različitih protokola usmjeravanja utemeljena na testiranju na stvarnoj opremi.

Osnovna ideja praktičnog dijela rada je prikazati koja vrsta protokola usmjeravanja je najpogodnija za određenu mrežu kao i usporedba rezultata iskazanih kroz putanje paketa, broj skokova i vrijeme koje je potrebno da paket stigne na odredište.

Strukturu diplomskog rada čini pet poglavlja koja obuhvaćaju osnovne informacije o dinamičkim i statičkim protokolima usmjeravanja, kao i osnovne različitosti unutar navedenih protokola. Sadržaj drugog poglavlja bavi se proučavanjem klasifikacije protokola usmjeravanja, metrike korištene za određivanje najboljeg puta te prednostima korištenja dinamičkih protokola usmjeravanja nad statičkim. U trećem poglavlju detaljnije će se analizirati osnovne značajke protokola usmjeravanja i njihova sistematizacija. Četvrto poglavlje rada uključuje implementaciju dinamičkih protokola usmjeravanja RIP-a i OSPF-a na usmjerivače uz pomoć programske podrške *Winbox*, kao i usporedbu i tumačenje dobivenih rezultata.

2. Razlika između statičkog i dinamičkog usmjeravanja

Dinamičko usmjeravanje koristi protokole dinamičkog usmjeravanja kako bi se automatski odredio najbolji put koji će se pohraniti u tablicu usmjeravanja. Kako bi se jednostavnije shvatile razlike unutar statičkog i dinamičkog usmjeravanja, važno je istaknuti kako se tablica usmjeravanja može modificirati dvama različitim načinima. Naziv tih načina upravo je statičko ili dinamičko usmjeravanje. Ključna razlika unutar dvaju navedenih vrsta usmjeravanja krije se u tom što se u slučaju statičkog usmjeravanja tablica usmjeravanja osvježava ručno, dok se u slučaju dinamičkog usmjeravanja tablice osvježavaju automatski i odluka o putu donosi se na temelju metrike. Na taj se način unaprijedilo korisničko iskustvo zbog kojeg su protokoli dinamičkog upravljanja u odnosu na statičko usmjeravanje korisniji.

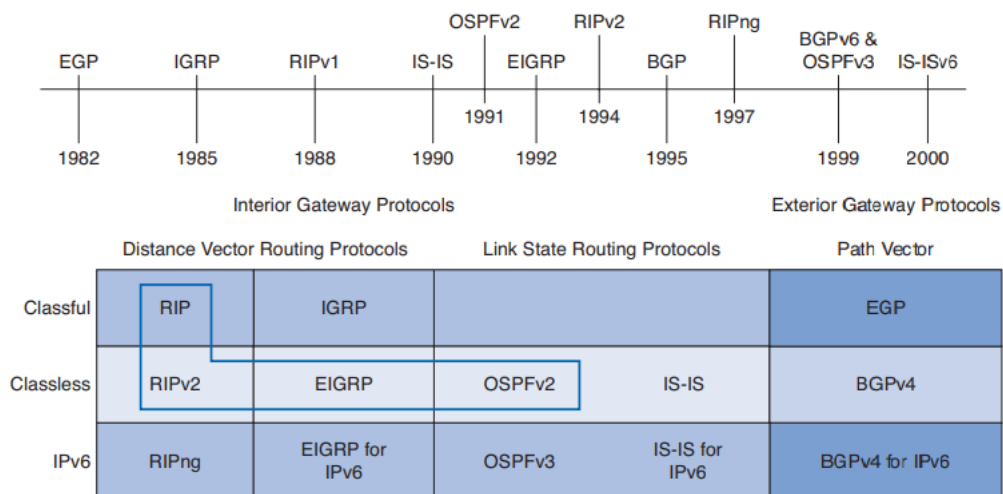
Konvergencija je pojam koji opisuje dinamičko usmjeravanje, a predstavlja mogućnost funkcioniranja mreže unatoč problemima i prekidima. Na primjer, ukoliko glavni usmjerivač između dvije krajnje točke u mreži prestane raditi, svojstvo konvergencije mreže će omogućiti da informacija ipak stigne na odredište. Statičko usmjeravanje ima stupanj konvergencije jednak nuli u smislu traženja idućeg puta u svojoj ograničenoj tablici usmjeravanja. To znači da problem kod statičkog usmjeravanja je što se u slučaju prekida rada mreže problem neće riješiti dok mrežni administrator ručno ne popravi kvar. Napredak u odnosu na mreže sa statičkim usmjeravanjem je upravo mogućnost da se uključanjem usmjerivača po putu u donošenje odluke o optimalnom putu i korištenjem tablica usmjeravanja pronađe potencijalni put do odredišta zaobilaznjem prekida u mreži. S obzirom na to da su u svim sustavima mogući kvarovi koji se potencijalno ne mogu oporaviti, dinamičko usmjeravanje iz navedenog razloga ima veliku prednost nad statičkim usmjeravanjem i u većini slučajeva je upravo ono poželjniji vid usmjeravanja.

Sve u svemu, dinamičko usmjeravanje ima bolju skalabilnost, robusnost i konvergenciju. Cijena prednosti dinamičkog usmjeravanja je povećanje resursa kao što je pojasna širina potrebna za administraciju protokola i složenost mreže.

| Svojstvo | Statičko usmjeravanje | Dinamičko usmjeravanje |
|-------------------------------------|---|---|
| Računalna sklopovska podrška | Podržano od većine usmjerivača | Može zahtijevati posebne, skuplje usmjerivače |
| Memorija usmjerivača | Minimalna | Može zahtijevati znatnu memoriju za veće tablice |
| Složenost | Jednostavna | Složena |
| Resursi | Bez dodatnih | Bolji procesor, više memorije i pojasne širine |
| Skalabilnost | Ograničenost na manje mreže | Izuzetna skalabilnost, bolje za veće mreže |
| Otpornost | Nema: Prekid mreže zahtijeva ručno popravljanje | Otporno: promet se automatski usmjerava oko kvarova |
| Konvergencija | Nema | Varira od dobre do odlične |
| Administrator | Nije potrebno dodatno znanje | Potrebno naprednije znanje |
| Sigurnost | Manja | Veća |
| Predvidivost | Put do odredišta uvijek isti | Put ovisi o trenutnoj topologiji |

Tablica 2.1. Usporedba statičkog i dinamičkog usmjeravanja

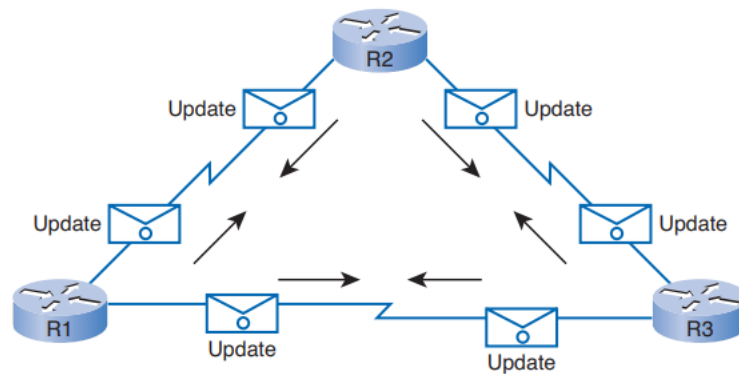
Protokoli dinamičkog usmjeravanja imaju važnu ulogu u današnjim mrežama, a kroz godine su se mijenjali kako bi zadovoljili mrežne potrebe. Iako je većina organizacija prešla na novije protokole dinamičkog upravljanja kao što su EIGRP (engl. *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*) i OSPF (engl. *Open Shortest Path First*), mnogi od starijih protokola upravljanja kao što je RIP (engl. *Routing Information Protocol*) i dalje su u upotrebi. Prva verzija RIP protokola pojavila se 1982. godine, iako su neki osnovni algoritmi upotrebljeni u protokolu korišteni na ARPANET-u (engl. *Advanced Research Projects Agency Network*) još 1969. godine.



Slika 2.1. Evolucija i klasifikacija dinamičkih protokola usmjeravanja

RIP protokol je nadograđen kako bi se prilagodio većim mrežama i tako je nastao RIPv2 iako i takav nije pogodan današnjim velikim mrežama. Dva protokola razvijena za potrebe većih mreža su: OSPF i IS-IS (engl. *Intermediate System-to-Intermediate System*). Cisco je razvio i IGRP (engl. *Interior Gateway Routing Protocol*) i EIGRP koji funkcioniraju u većim mrežama. Naknadno se pojavila potreba za međumrežnim povezivanjem i usmjeravanjem. BGP (engl. *Border Gateway Protocol*) protokol koristi se među pružateljima mrežnih usluga (engl. *Internet service providers*), ali i između pružatelja mrežnih usluga i njihovih većih privatnih klijenata za razmjenu usmjerivačkih informacija. Dolaskom brojnih uređaja koji koriste IP, IPv4 adresiranje postalo je nedovoljno veliko pa se pojavio IPv6.

Protokoli dinamičkog usmjeravanja koriste se za olakšavanje razmjene usmjerivačkih informacija između usmjerivača. Protokoli usmjeravanja omogućuju usmjerivačima da dinamički uče informacije o udaljenim mrežama i automatski dodaju informacije u tablice usmjeravanja kao što je prikazano na slici 2.2.



Slika 2.2. Razmjena informacija među usmjerivačima

Protokoli usmjeravanja određuju najbolji put do svake mreže, a potom se odluka o najboljem putu upisuje u tablicu usmjeravanja. Glavna korist korištenja protokola dinamičkog usmjeravanja je mogućnost razmjene informacija među usmjerivačima uslijed promjene mrežne topologije. Ta razmjena omogućava usmjerivačima da istovremeno uče o drugim mrežama i spremaju informacije o drugim putevima u memoriju kako bi se u slučaju kvara na glavnom putu mogao pronaći alternativni.

U usporedbi sa statičkim usmjeravanjem, protokoli dinamičkog usmjeravanja zahtijevaju manje administrativnih resursa (engl. *administrative overhead*). S druge strane, korištenjem protokola dinamičkog usmjeravanja usmjerivači troše dio resursa na rad protokola.

Ovisno o veličini mreže, resursni zahtjevi prema usmjerivaču su veći ili manji pa zbog toga protokoli dinamičkog usmjeravanja zahtijevaju usmjerivače s više memorije i većom propusnošću. Iako, postoje slučajevi u kojima je optimalno koristiti statičke rute. Zbog toga se za umjereno složene mreže koriste i statičke i dinamičke rute.

Dva problema koja rješavaju protokoli dinamičkog usmjeravanja su otkrivanje novih udaljenih mreža i održavanje liste tih mreža u tablici usmjeravanja. Protokol usmjeravanja je skup postupaka, algoritama i poruka korištenih za razmjenu informacija o usmjeravanju te tablični zapis protokola o putevima i broju skokova. Svrha protokola usmjeravanja je:

- Otkrivanje udaljenih mreža
- Održavanje aktualnih informacija o usmjeravanju
- Odabir najboljeg puta do određene mreže
- Mogućnost pronalaska drugog najboljeg puta u slučaju nedostupnosti prvog

Dijelovi protokola usmjeravanja su:

- Struktura podataka: korištenje tablica i baza podataka za izvršavanje operacija nad podacima pohranjenima u RAM memoriji
- Algoritam: konačna lista koraka do ispunjenja pojedinog zadatka tj. program koji obradom podataka odlučuje o najboljem putu
- Poruke: koriste se kod razmjene informacija među susjednim usmjerivačima

Postupci protokola dinamičkog usmjeravanja mogu se opisati:

1. Usmjerivač šalje i prima poruke preko sučelja;
2. Usmjerivač dijeli poruke i informacije o usmjeravanju i promjenama mrežne topologije s drugim usmjerivačima koji koriste isti protokol.

Kako bi se bolje shvatilo dinamičko usmjeravanje, bitno je razumjeti važnost statičkog usmjeravanja i usmjeravanja općenito. Kompleksnost mrežne topologije, broj mreža i potreba za brzom prilagodbom zahtijevaju korištenje protokola dinamičkog usmjeravanja. Iako je dinamičko usmjeravanje bolje, efikasnije i sofisticiranije od statičkog, statičko usmjeravanje se još uvijek, samo ili u kombinaciji s dinamičkim, koristi u manjim mrežama.

2.1. Statičko usmjeravanje

Statičko usmjeravanje koristi se kada je riječ o manjoj mreži za koju očekujemo da neće previše rasti, pa je i održavanje tablica usmjeravanja jednostavnije. Postoje mreže ili dijelovi mreža bez znanja o drugim mrežama. Takve mreže sav promet šalju preko zadanog puta (engl. *default route*) i nazivaju se krajnje mreže (engl. *stub networks*) kod kojih je optimalno koristiti statičko usmjeravanje.[11] Prednosti statičkog usmjeravanja su:

- Manji zahtjevi na procesor
- Jednostavnije administriranje
- Lakša konfiguracija mreže

Nedostaci statičkog usmjeravanja su:

- Konfiguracija i održavanje rade se ručno pa troše vrijeme
- Kod konfiguracije većih mreža česte su pogreške
- Administrator mora reagirati kod svake promjene u mreži
- Kod rastućih mreža održavanje postane glomazno

2.2. Dinamičko usmjeravanje

Prednosti dinamičkog usmjeravanja su:

- Održavanje konfiguracije nakon dodavanja ili brisanja mreža je jednostavnije
- Protokol automatski reagira na promjene u mreži
- Konfiguracija otpornija na pogreške
- Prilagodba na rastuću mrežu
- Dinamičkim usmjeravanjem mogu se koristiti korisnici sa osnovnim znanjem o računalnim programima

Nedostaci dinamičkog usmjeravanja su:

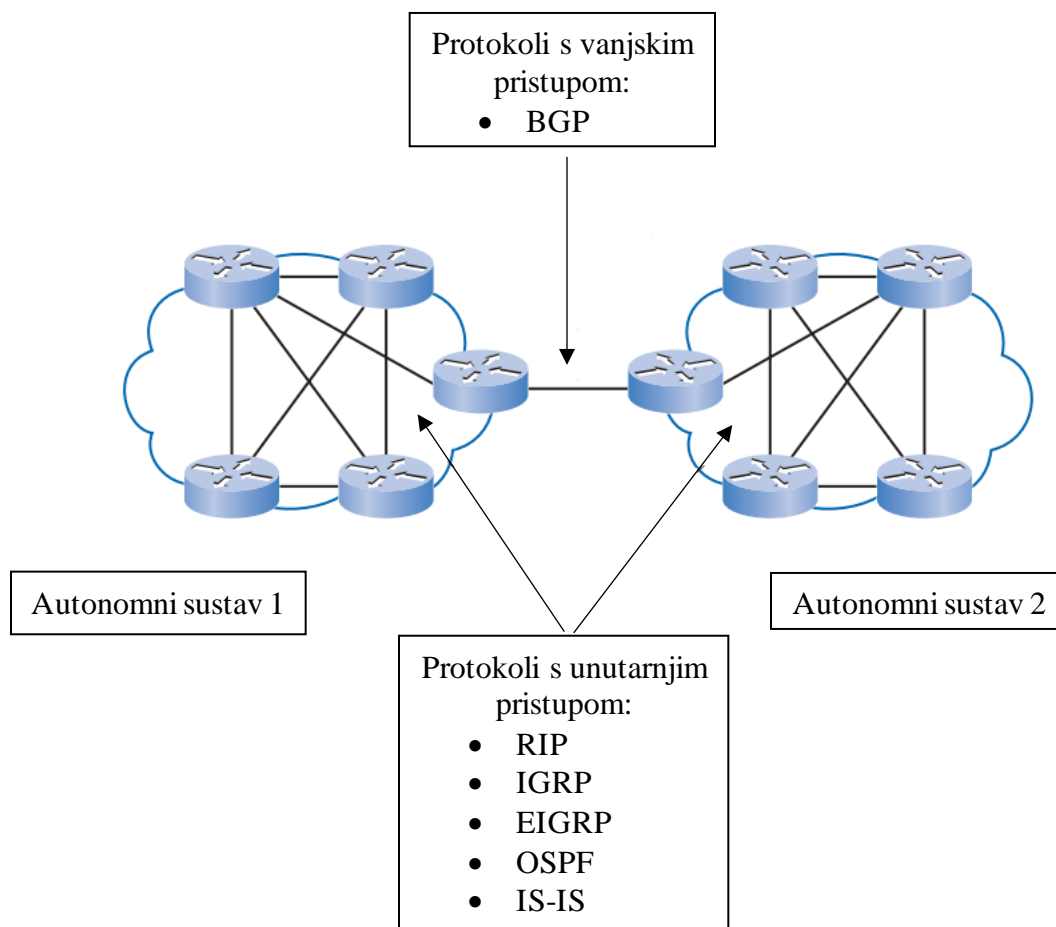
- Korištenje usmjerivačkih resursa (procesor, memorija, pojasna širina)
- Veće znanje administratora za konfiguraciju, verifikaciju i otkrivanje pogrešaka
- Neisplativost kada su u pitanju manji projekti
- S obzirom na veću kompleksnost finalizacije projekta, dinamičko usmjeravanje zahtjeva veće financijske troškove i više vremena

Uvidom u analizu prednosti i nedostataka obaju modela moguće je zaključiti kako se prednost jednog modela upravljanja nad drugim krije isključivo u potrebama projekta. Kombinirana upotreba statičkog i dinamičkog usmjeravanja može uvelike doprinijeti razvoju tehnologije u budućnosti.

3. Protokoli dinamičkog usmjeravanja

Skup mreža povezanih usmjerivačima komunicira uz pomoć protokola. Kada je paket poslan od izvora do odredišta na putu može proći nekoliko usmjerivača dok ne stigne do usmjerivača na odredišnoj mreži. Neovisni sustav (engl. *Autonomous system, AS*) grupe usmjerivača pod zajedničkim upravljanjem naziva se područje usmjeravanja (engl. *routing domain*). Takav neovisni sustav sačinjen je od više mreža koje pripadaju istoj tvrtci, školi ili nekoj drugoj instituciji. Postoje dvije vrste protokola usmjeravanja:

1. Protokoli unutarnjeg usmjeravanja (engl. *Interior Gateway Protocols, IGP*) koji usmjeravaju unutar jedne domene, a to su RIP, EIGRP, OSPF i IS-IS.
2. Protokoli vanjskog usmjeravanja (engl. *Exterior Gateway Protocols, EGP*) koji usmjeravaju u više domena, a to je BGP (engl. *Border Gateway Protocol*).



Slika 3.1 IGP i EGP protokoli usmjeravanja

IGP protokoli mogu se podijeliti na protokole na temelju algoritma vektora udaljenosti (engl. *Distance Vector protocols*) i protokole na temelju algoritma stanja veze (engl. *Link State Routing Protocols*).

3.1. Protokoli na temelju algoritma vektora udaljenosti

Protokoli na temelju algoritma vektora udaljenosti koji se mogu opisati sljedećim karakteristikama:

- Udaljenost: značajka prepoznavanja najboljeg puta od izvora do odredišne mreže temeljena na metrici (broj skokova, vrijednost, pojasna širina, kašnjenje) objedinjenoj Bellman-Fordovim algoritmom,
- Vektor: značajka koja određuje put usmjerivača na idućem skoku na putu do odredišta,
- Prikupljanje statističkih podataka susjednih usmjerivača u mreži,
- Određivanje boljeg smjera dodavanjem metričkih vrijednosti stečenih obradom informacija iz mreže,
- Kreiranje nove mrežne topologije pomoću ažuriranih tablica usmjeravanja,
- Sporija konvergencija.

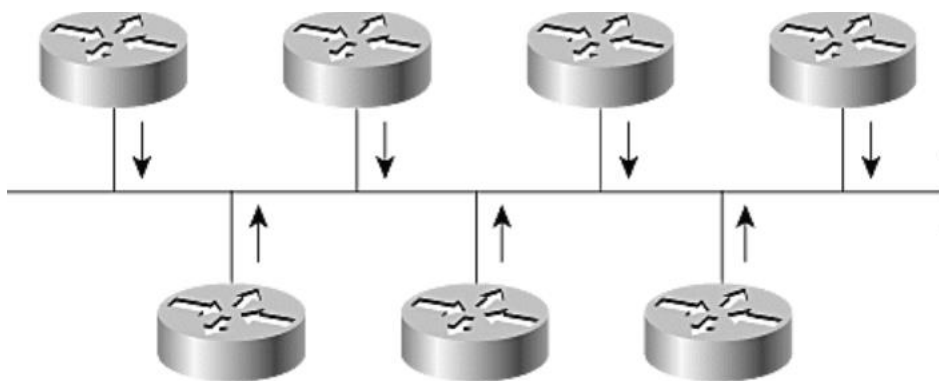
Primjer protokola na temelju algoritma vektora udaljenosti su RIP i EIGRP protokoli. Protokoli temeljeni na algoritmu vektora udaljenosti koriste usmjerivače kao putokaze na putu do kranjeg odredišta. Jedina informacija koju usmjerivač ima o udaljenoj mreži je udaljenost ili metrika do te mreže i koji put ili sučelje koristiti kako bi poslao informaciju do odredišta. Protokoli na temelju algoritma vektora udaljenosti nemaju točnu kartu mrežne topologije. Ni jedan usmjerivač u mreži ne zna točnu topologiju cijele mreže već samo usmjerivačke informacije dobivene od susjednih usmjerivača.

Protokoli na temelju algoritma vektora udaljenosti najbolji su u situacijama kada:

- je mreža jednostavna i ne zahtjeva hijerarhijski pristup,
- administratori nemaju dovoljno znanja za konfiguraciju i otkrivanje problema na pojedinim vezama
- se radi o *hub-and-spoke* mrežama kod kojih je koncentrador središnji uređaj u mreži koji komunicira sa svim ostalim uređajima, a primjer takve mreže su sustavi za usmjeravanje zračnog prometa,
- brzina konvergencije u mreži nije bitna.

Tipičan protokol na temelju algoritma vektora udaljenosti koristi usmjeravanje u kojem usmjerivači periodično, svakih 10 do 90 sekundi, razaslišu ažurirane informacije o usmjeravanju svim susjedima u obliku tablica usmjeravanja. Problem kod periodičkog ažuriranja može biti prečesto ažuriranje koje dovodi do zagušenja ili nedovoljno često ažuriranje zbog kojeg vrijeme konvergencije postaje predugo. Međutim, postoji još nekoliko načina ažuriranja:

1. Ažuriranje razasiljanjem (engl. *Broadcast Updates*) – usmjerivač prije nego postane aktivan mora biti prepoznat od strane ostalih uređaja u mreži. Usmjerivač pošalje ažuriranja na adresu razasiljanja (kod IP 255.255.255.255) nakon čega ostali usmjerivači s istim protkolom dobivaju informacije.
2. Asinkrono ažuriranje (engl. *Asynchronous Updates*) – na slici 3.2 je prikaz grupe usmjerivača povezanih na Ethernet okosnicu. Usmjerivači ne bi trebali emitirati ažuriranja istovremeno kako ne bi došlo do kolizije paketa. Kašnjenja u sustavu povezana s ažuriranjem usmjerivača uzrokuju sinkronizaciju brojača u mrežnim uređajima. Asinkrona ažuriranja mogu biti održavana na način da svaki brojač bude neovisan od procesa usmjeravanja te da promet na usmjerivaču nema utjecaj na brojač. Drugi način je da se na vrijeme ažuriranja svakog usmjerivača doda slučajni mali vremenski pomak (engl. *timing jitter*) kako bi se u slučaju ponovnog podizanja sustava (engl. *reboot*) izbjeglo istovremeno ažuriranje više uređaja.



Slika 3.2 Asinkrono ažuriranje

3. Potaknuto ažuriranje (engl. *Triggered Updates*) – ukoliko dođe do promjene metrike, usmjerivač istog trenutka šalje ažuriranje neovisno o tome je li brojač istekao. Na taj način mreža brže konvergira. Nedostatak ovakvog načina ažuriranja mreže je što se može dogoditi da neki usmjerivač u mreži koji još nije konvergirao pošalje stanje mreže i na taj način „pregazi“ točne informacije na konvergiranim usmjerivačima. Problem se može riješiti na način da usmjerivač umjesto cijele tablice usmjeravanja šalje promjene vezane za one mreže koje su potaknule ažuriranje. Takva tehnika smanjuje vrijeme obrade informacija i potrebne resurse.

3.2. Protokoli na temelju algoritma stanja veze

Protokoli na temelju algoritma stanja veze koji kroz prikupljanjem statističkih podataka o vezama sa svih usmjerivača u mreži stvaraju točne mrežne topologije. Informacije o stanju veze koriste usmjerivači pri odluci o najboljem putu do svih odredišnih mreža. Putokazi na putu do odredišta nisu potrebni jer svaki usmjerivač u mreži s protokolom na temelju algoritma stanja veze (engl. *link-state router*) koristi identičnu „kartu“ mrežne topologije. Kod protokola temeljenog na algoritmu stanja veze ažuriranje nije periodično već do ažuriranja dolazi uslijed promjene u mrežnoj topologiji.

Protokoli na temelju algoritma stanja veze korisni su u uvjetima kada:

- je mreža velika i postoji hijerarhija u njoj,
- su potrebne brze i efikasne reakcije na događaje u mreži (kvarove),
- je mrežna administracija dobro upoznata s protokolima upravljanja.

Primjer protokola na temelju algoritma stanja veze su OSPF i IS-IS protokoli.

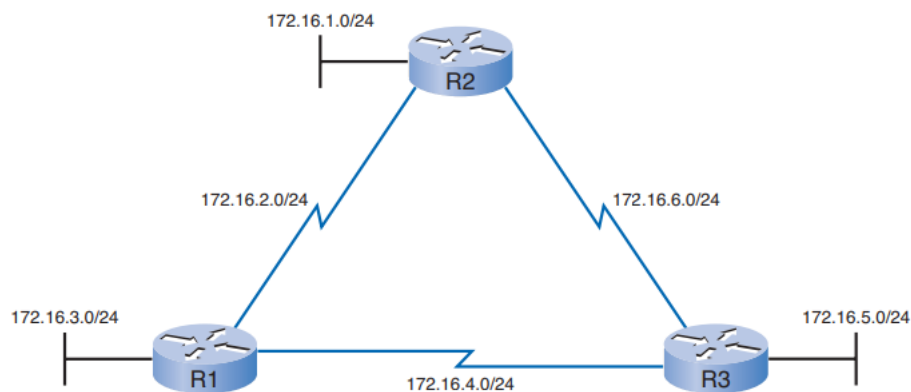
Svi protokoli dinamičkog upravljanja mogu se podijeliti na klasne i besklasne protokole.

3.3. Klasni protokoli usmjeravanja

Klasni protokoli usmjeravanja (engl. *Classful routing protocols*) ne šalju informaciju o maski podmreže prilikom ažuriranja tablica usmjeravanja. Prvi protokoli upravljanja, kao što su RIPv1 i IGRP, su klasni. Mrežne adrese dodjeljuju se prema klasama, a postoje klase A, B i C. Maska

podmreže određena je prvim oktetom bitova mrežne adrese pa je to razlog zbog kojeg protokol usmjeravanja nije uključivao masku podmreže pri ažuriranju tablica usmjeravanja.

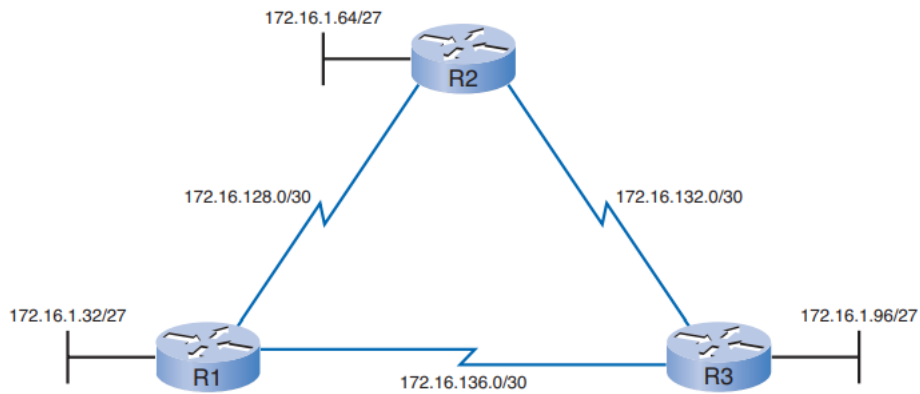
Klasni protokoli usmjeravanja koriste se i u današnjim mrežama, ali zbog toga što u tablice usmjeravanja ne uključuju masku podmreže ne mogu se koristiti u slučaju kada mreža ima više maski podmreže. Klasni protokoli ne podržavaju varijabilnu duljinu maski podmreže (engl. *variable-length subnet masks, VLSM*). Na slici 3.2 je primjer mreže koja koristi istu masku za sve podmreže.



Slika 3.2. Mreža s klasnim protokolom usmjeravanja

3.4. Besklasni protokoli usmjeravanja

Besklasni protokoli upravljanja (engl. *Classless routing protocols*) prilikom ažuriranja tablica usmjeravanja uključuju i masku podmreže s mrežnom adresom. Mrežne adrese nisu dodijeljene prema klasi i maska podmreže ne može biti određena vrijednošću prvog okteta. Zbog toga što podržavaju varijabilnu duljinu maski podmreže i diskontinuirane mreže, besklasni protokoli upravljanja koriste se u većini mreža. Besklasni protokoli upravljanja su RIPv2, EIGRP, OSPF, IS-IS i BGP. Na slici 3.3 može se primjetiti da besklasna verzija mreže koristi različite maske podmreže (/27 i /30).



Slika 3.3. Mreža s besklasnim protokolom upravljanja

3.5. Konvergencija

Važna karakteristika protokola usmjeravanja je brzina prilagodbe kod promjene topologije. Konvergencija je kada su tablice usmjeravanja svih usmjerivača u stanju konzistentnosti. Mreža je konvergirala kada svi usmjerivači imaju točne i potpune informacije o mreži. Vrijeme konvergencije je vrijeme potrebno usmjerivačima da podijele informaciju, donesu odluku o najboljem putu i ažuriraju svoje tablice usmjeravanja.

Konvergencija podrazumijeva zajednički rad više usmjerivača koji međusobno dijele informacije, ali svaki usmjerivač uzima u obzir promjenu topologije. Promjenom vrijednosti parametara za izračun, donosi odluku o najboljem putu.

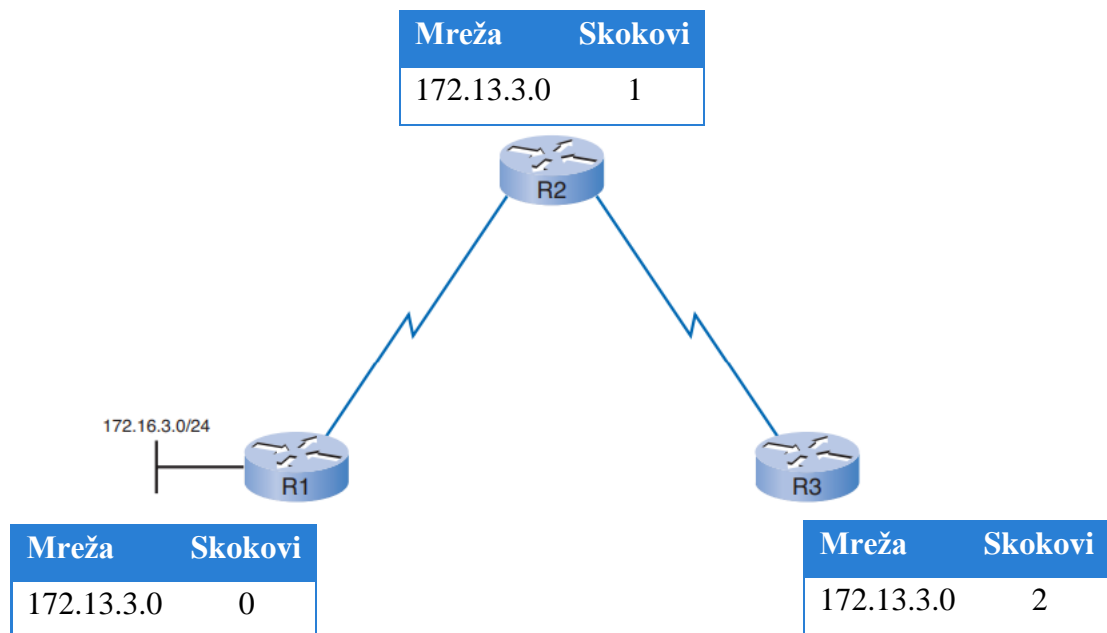
Svojstva konvergencije uključuju brzinu širenja informacija i izračun najboljih puteva. Brzina konvergencije je jedan od najvažnijih parametara pri vrednovanju protokola. RIP i IGRP sporo konvergiraju, dok EIGRP, OSPF i IS-IS brzo konvergiraju.

3.6. Metrika

Metrika podrazumijeva način mjerenja ili usporedbe kojom se određuje poželjan put. Protokol usmjeravanja prikuplja informacije koje obrađuje, vrši evaluaciju i uspoređuje razlike među

putevima koje je prepoznao. Metrika je vrijednost koju protokol koristi za dodjelu cijene putu do udaljene mreže.

Svaki protokol usmjeravanja koristi različitu metriku za izračun. RIP koristi broj skokova, EIGRP koristi kombinaciju pojasne širine i kašnjenja, Ciscova izvedba OSPF-a koristi pojasnu širinu. Broj skokova je broj usmjerivača kojima paket prolazi na putu do određene mreže. Na slici 3.4., mreža 172.16.3.0. udaljena je od usmjerivača R3 dva skoka, od usmjerivača R2 jedan skok, a od usmjerivača R1 nula skokova.

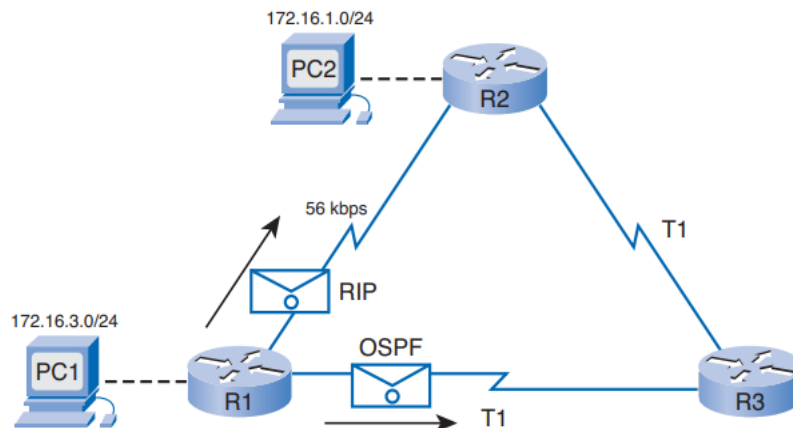


Slika 3.4. Tablice broja skokova

Parametri metrike korištene u IP protokolima su:

- Broj skokova tj. broj usmjerivača koje paket prođe na putu do odredišta,
- Pojasna širina kod koje se put bira po kriteriju širine pojasa, a kao kombinacija ukupnog kašnjenja i tereta veze koristi se kod EIGRP protokola,
- Opterećenje veze tj. iskorištenost linka, za razliku od broja skokova i pojasne širine radi se o vremenski promjenjivom parametru pa treba paziti na promjenjivu rutu (engl. *flapping route*). Promjenjiva ruta nastaje kada usmjerivač naizmjenično oglašava puteve do određene mreže preko različitih usmjerivača ili za određenu rutu javlja da je aktivna pa neaktivna u kratkom periodu,[12]
- Kašnjenje tj. vrijeme potrebno da paket stigne do krajnjeg odredišta, metrika koja se može koristiti zajedno s kašnjenjem i redom čekanja (engl. *queuing delay*),

- Pouzdanost koja predstavlja vjerojatnost greške na linku, a računa se iz ranijih grešaka na linku. Može se računati i kao broj pogrešaka u jedinici vremena,
- Cijena kao metrika koju administrator može proizvoljno odrediti.



Slika 3.5. Broj skokova protiv pojase širine

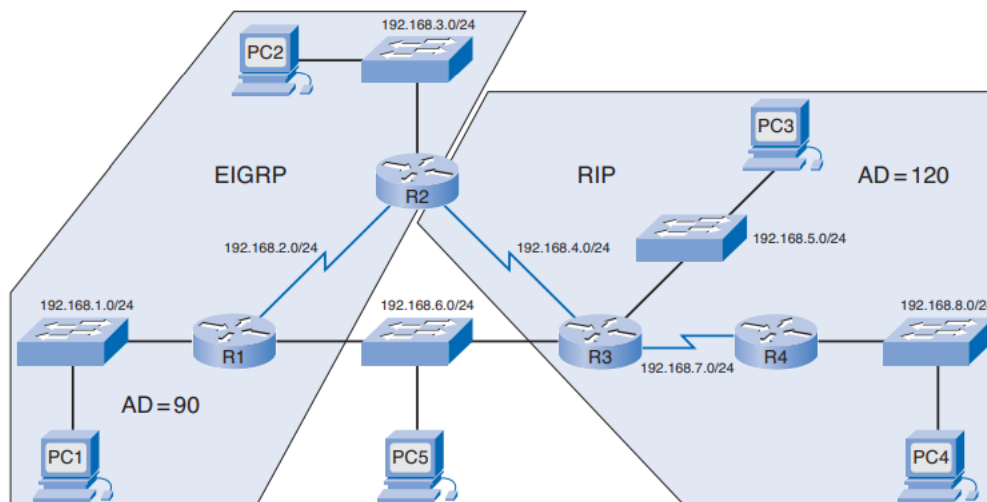
Na slici 3.5. je prikaz odabira puta RIP i OSPF protokola. RIP odlučuje pod utjecajem broja skokova kao dominantne metrike dok OSPF odlučuje na temelju pojase širine.

3.7. Administrativna udaljenost

Administrativna udaljenost (engl. *administrative distance*) koristi se u procesu usmjeravanja u svrhu određivanja usmjerivača s kojih će se koristiti informacije da bi paket stigao na određite. Prije odluke o putevima koji će se koristiti, protokol mora odlučiti koje će puteve uopće uključiti u tablicu usmjeravanja. Može se reći da administrativna udaljenost predstavlja odabir informacija iz mreže koje će protokol obraditi da bi došao do podatka o poželjnom putu.

Usmjerivač uči put do udaljene mreže pomoću informacija s više drugih usmjerivača. Statička ruta može biti konfigurirana za istu mrežu koja već koristi neki od protokola dinamičkog upravljanja. Usmjerivač mora odlučiti hoće li primjeniti podatke statičkih ruta ili protokola dinamičkog upravljanja. U nekim slučajevima potrebno je koristiti više protokola usmjeravanja kao što su RIP i OSPF. Zbog različite metrike koju protokoli koriste (RIP - broj skokova, OSPF - pojasna širina), nastaje problem kod odluke o poželjnom putu jer su različite metrike teško usporedive.

Usmjerivači koriste administrativnu udaljenost kao glavni parametar kod odluke o poželjnom putu kada su informacije o mreži prikupljene od dva ili više različitih izvora usmjeravanja. Izvori usmjeravanja mogu biti statičke rute, protokoli dinamičkog upravljanja ili neposredno povezane mreže. Administrativna udaljenost predstavlja cijeli broj između 0 i 255. Manja vrijednost znači poželjniji izvor usmjeravanja, a samo neposredno povezane mreže imaju administrativnu udaljenost jednaku nuli. Ako je administrativna udaljenost jednaka 255 to znači da se usmjerivač ne može pouzdati u tu rutu te ju neće upisati u tablicu usmjeravanja. Upravo pouzdanost je najvažnija značajka administrativne udaljenosti. Što je manja vrijednost administrativne udaljenosti, to je ruta pouzdanija. Na slici 3.6. prikazana je topologija u kojoj usmjerivač R2 koristi EIGRP protokol za komunikaciju s usmjerivačem R1, a RIP protokol za komunikaciju s usmjerivačem R3. To inače nije praksa, ali kroz takav primjer dodatno će biti objašnjen pojam administrativne udaljenosti.



Slika 3.6. Korištenje različitih protokola u istoj mreži

Usmjerivač R2 otkrio je rutu 192.168.6.0/24 pomoću usmjerivača R1 kroz ažuriranja tablica usmjeravanja EIGRP protokola, ali istu rutu otkrio je pomoću usmjerivača R3 kroz ažuriranja tablica usmjeravanja RIP protokola. RIP ima administrativnu udaljenost jednaku 120, a EIGRP ima manju administrativnu udaljenost jednaku 90. Usmjerivač R2 dodaje rutu naučenu preko EIGRP protokola u tablicu usmjeravanja i sve pakete do mreže 192.168.6.0/24 šalje preko usmjerivača R1. Ukoliko usmjerivač R1 postane nedostupan, usmjerivač R2 može povući podatke o RIP usmjeravanju iz RIP baze podataka. Ako EIGRP ruta ponovno postane dostupna, ona će biti upisana u tablicu usmjeravanja, a RIP ruta bit će uklonjena jer ima veću vrijednost administrativne udaljenosti.

| Izvor usmjeravanja | AD |
|--------------------|-----|
| Spojene mreže | 0 |
| Statički | 1 |
| EIGRP ukupna ruta | 5 |
| Vanjski BGP | 20 |
| Unutarnji EIGRP | 90 |
| IGRP | 100 |
| OSPF | 110 |
| IS-IS | 115 |
| RIP | 120 |
| Vanjski EIGRP | 170 |
| Unutarnji BGP | 200 |

Tablica 3.1. Zadane administrativne udaljenosti

Statičke rute ručno unosi administrator kako bi konfigurirao najpoželjniji put do odredišta. Zadana vrijednost administrativne udaljenosti kod statičkih ruta je jedan. Statičke rute su, poslije neposredno spojenih mreža koje imaju vrijednost AD jednaku nuli, najpoželjniji izvor usmjeravanja.

Postoje slučajevi kada administrator konfigurira statičku rutu do istog odredišta koje je protokol dinamičkog upravljanja otkrio, samo različitim putem. Statička ruta se konfigurira s većom administrativnom udaljenošću nego ruta protokola dinamičkog upravljanja. Ukoliko se dogodi kvar na vezi kod puta odabranog dinamičkim protokolom, put se briše iz tablice usmjeravanja. Statička ruta tada postaje jedini izvor usmjeravanja te se dodaje u tablicu usmjeravanja. Takva ruta naziva se redundantna statička ruta (engl. *floating static route*).

3.8. Važnost protokola usmjeravanja

S obzirom na to da živimo u razdoblju kada je internet sastavnim dijelom života svakog pojedinca, protokoli usmjeravanja imaju važnu ulogu jer određuju kako se komunikacija odvija u usmjerivačima. Značajka koja omogućuje međusobnu komunikaciju računala u različitim mrežama naziva se konfiguracija usmjeravanja. Pogrešna konfiguracija tablice usmjeravanja može uzrokovati gubitak ili odgodu paketa, a najgora posljedica koja se može dogoditi je trajni gubitak informacija koje se šalju. Osim pogrešne konfiguracije tablice, ono što može dovesti do

potencijalnih problema prilikom slanja poruka je gubitak veze unutar usmjerivača ili kvar na jednom od usmjerivača.

3.9. RIP protokol

Protokol usmjeravanja informacija (engl. *Routing Information Protocol, RIP*) je jedan od protokola usmjeravanja korišten unutar jednog neovisnog sustava (engl. *autonomous system, AS*). To je jednostavan protokol na temelju algoritma vektora udaljenosti sa sljedećim značajkama:

- Metrika s širokom varijacijom skokova (engl. *hop count*)
- Maksimalan broj skokova je 15
- Ažurira se svakih 30 sekundi
- Bira najbrži put s najmanjim brojem skokova
- Radi promet u mreži ažuriranjem

Kada se RIP konfigurira na usmjerivač, za početak se pošalju paketi zahtjeva prema svim sučeljima u mreži koja imaju omogućen RIP. Na taj zahtjev ostali usmjerivači odgovaraju slanjem tablice usmjeravanja i taj proces traje dok mreža ne konvergira. RIP protokol je zamišljen kao jednostavan protokol s malom skalabilnošću jer maksimalan broj skokova je 15. Kada usmjerivač dobije informaciju o nekoj ruti koja ima više od 15 skokova, definira ju kao nepristupačnu i nepoželjnu. S druge strane, na taj način spriječava se usmjerivačka petlja (engl. *routing loop*). RIP spriječava neprikladne informacije u mreži korištenjem značajki poput podijeljenog horizonta (engl. *split horizon*) i brojanja do beskonačnosti (engl. *counting to infinity*). Podijeljeni horizont je tehnika koja spriječava da usmjerivač vraća informaciju susjednom usmjerivaču od kojeg je tu istu informaciju dobio. Na taj se način ne može dogoditi da se informacija o ruti koja je prekinuta proširi mrežom kao netočna informacija o ispravnoj ruti i na taj način izazove usmjerivačku petlju. Brojanje do beskonačnosti je tehnika koja uz podijeljeni horizont spriječava nastajanje usmjerivačke petlje jer ruta koja je udaljena 16 skokova smatra se nedostupna.

Postoje varijacije RIP protokola kao što su RIPv1 i RIPv2.

RIPv1:

- Podržava potpuno usmjeravanje klase
- Ne postoji mehanizam ovjere (engl. *authentication*)

RIPv2:

- Podržava besklasno usmjeravanje među domenama (engl. *Classless Inter-Domain Routing*, CIDR)
- Koristi MD5 (engl. *Message-digest algorithm*) mehanizam za provjeru autentičnosti
- Može prenositi informacije korištenjem različitih načina adresiranja i dostave; isporuka određenog navedenog uređaja (*unicast*), multicast dostava (*multicast*) i emitirana dostava (*broadcast*)

3.9.1. Unicast

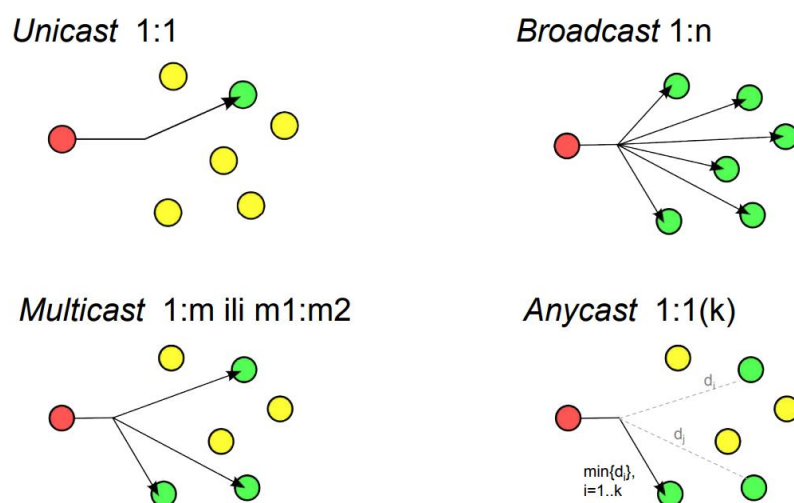
Unicast je vrsta razaslanja u Internetu gdje pošiljalac šalje poruku samo jednom primatelju, točnije ovo je oblik komunikacije jedan-na-jedan.

3.9.2. Multicast

Multicast ili višeodređeno razaslanje u Internetu podrazumijeva slanje jednog IP datagrama skupini koja je sačinjena od nula ili više računala određenih isključivo jednom IP određenom adresom. Navedeni način razaslanja ne mijenja osnovni način komunikacije u Internetu. Razlozi zašto se ovaj način ističe kao jednostavan model razaslanja je jer ga čine primatelji koji izražavaju interes, pošiljalci koji šalju podatke te usmjeritelji koji surađuju kako bi dostavili podatke od pošiljalca do zainteresiranih primatelja.

3.9.3. Broadcast

Broadcast je mrežna adresa koja omogućuje prijenos podataka na sve one uređaje koji su spojeni na komunikacijsku mrežu s višestrukim pristupom.



Slika 3.7. Načini razaslanja podataka na Internetu[14]

3.10. EIGRP protokol

Napredni protokol unutarnjeg usmjeravanja (engl. *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol, EIGRP*) koji objedinjuje značajke protokola na temelju algoritma vektora udaljenosti i protokola na temelju algoritma stanja veze pa se naziva hibridni protokol. EIGRP protokol je u vlasništvu CISCO kompanije, a koristi algoritam za difuzno ažuriranje (engl. *Diffusing update algorithm*) koji sprječava beskonačnu usmjeravačku petlju koja može nastati kod proračuna. EIGRP kao i ostali IGP protokoli koristi ideju neovisnog sustava (AS) za organizaciju usmjerivača koji imaju iste zadaće. EIGRP protokol prikuplja informacije o rutama pomoću usmjerivača, ali za razliku od protokola na temelju vektora udaljenosti zadužen je i održava samo dio mrežne topologije. Postoje tri vrste tablica: tablica usmjeravanja, tablica susjeda i tablica topologije. EIGRP koristi pojasnu širinu i kašnjenje kao metrike za određivanje najboljeg puta od izvora do odredišta, a ponekad se koriste i maksimalna podatkovna jedinica (engl. *Maximum Transmission Unit, MTU*), pouzdanost i opterećenje. Karakteristike EIGRP protokola su:

- Poboljšana verzija protokola na temelju vektora udaljenosti
- Koristi pojasnu širinu, kašnjenje, MTU, pouzdanost i teret kao metrike
- Maksimalan broj skokova je 255
- Masovno u primjeni
- Brza konvergencija

3.11. OSPF protokol

OSPF (engl. *Open Shortest Path First*) je jedan od protokola upravljanja na temelju algoritma stanja veze koji spadaju u grupu protokola s unutarnjim usmjeravanjem i rade kao neovisan sustav (AS). OSPF protokol detektira (otkriva) puknuća na linku (vezi) i djeluje u razdoblju od nekoliko sekundi. OSPF koristi Dijkstra algoritam za izračunavanje najkraćeg puta za svaku vezu. OSPF protokol usmjeravanja koristi stanje veze kao čimbenik u metrici za izradu topoloških tablica vezanih za svako usmjerivačko sučelje. Udaljenost usmjerivača (engl. *round-trip time*), informacije o propusnosti veze, dostupnost i pouzdanost veze iskazani kroz brojčanu vrijednost smatraju se cijenom koja predstavlja metriku pri odabiru i usklađivanju opterećenosti veza u sustavu dinamičkog upravljanja. Postoji pet karakterističnih paketa za OSPF:

1. Hello paket – uspostavlja i ažurira veze
2. Podaci baze – opis mrežne topologije

3. Stanje veze – zahtjev prema podacima iz baze susjednog usmjerivača
4. Ažuriranje veze – vršenje promjena
5. ACK (engl. *acknowledgement*) stanja veze – potvrda

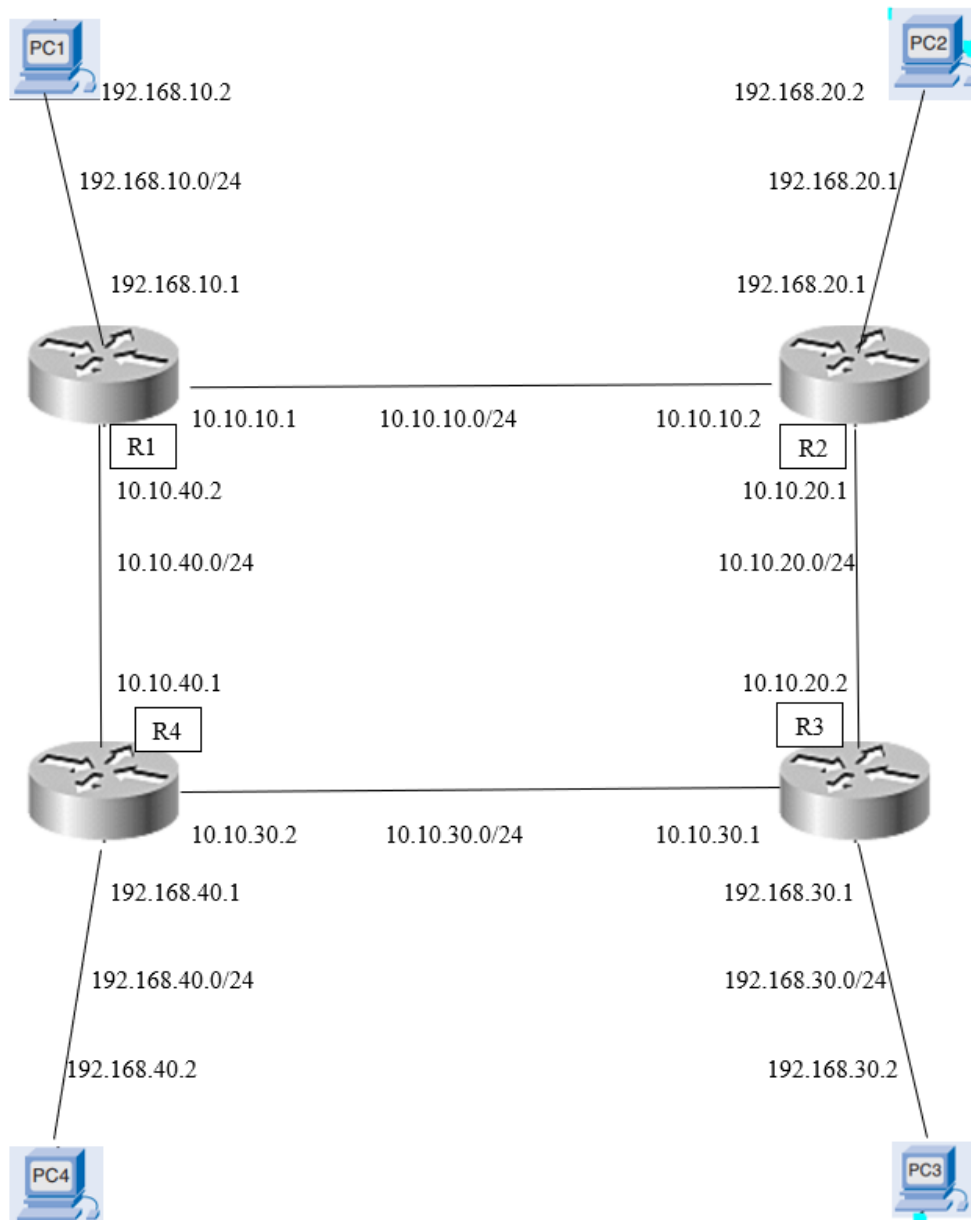
LSA (engl. *Link-state advertisement*) predstavlja informacije o pojedinoj vezi u mreži, a koriste ih svi susjedni OSPF usmjerivači. Karakteristike OSPF protokola su:

- Konstantno određivanje slobodnih veza
- Pouzdano ažuriranje i prilagodba situacijama u mreži
- Malo korištenje pojase širine
- Metrika temeljena na cijeni sučelja

4. Testiranje na opremi i analiza rezultata

Praktični dio rada odrađen je u programu *Winbox*. *Winbox* predstavlja mali uslužni program koji je dizajniran tako da pruža mogućnost administriranja MikroTik RouterOS-a kao i praćenje njegovog napretka. Navedeni program koristi se grafičkim korisničkim sučeljem (eng. GUI-Graphical User Interface) koji se upotrebljava za konfiguraciju usmjerivača. *Winbox* je moguće pokrenuti i na Linuxu i macOS-u premda je izvorna datoteka win32 binarna datoteka. Kao najveća prednost navedenog programa ističe se što na jednostavan i brz način omogućuje administriranje MikroTik RouterOS-a. Osim navedene funkcije, *Winbox* se upotrebljava za praćenje prometa u svim tokovima u stvarnom vremenu, ali i za učitavanje i preuzimanje datoteka na i iz usmjerivača. Kao grafičko korisničko sučelje, *Winbox* vam omogućuje konfiguriranje i upravljanje MikroTik RouterOS uređajima.[13]

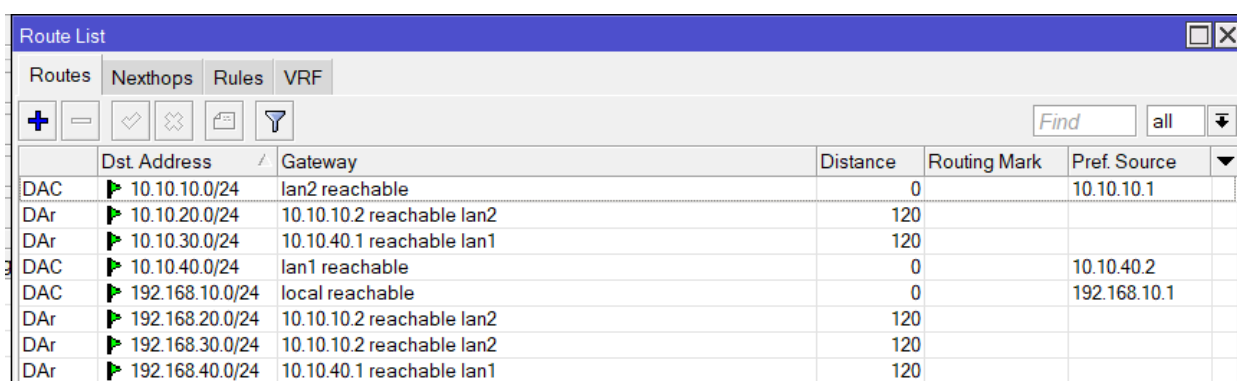
Za potrebe ovog rada koristila su se četiri Mikrotik usmjerivača u prstenastoj topografiji kao na slici 4.1. Na usmjerivače su postavljeni RIP i OSPF dinamički protokoli.



Slika 4.1. Topografija mreže korištene u praktičnom dijelu rada

4.1. Testiranje na opremi

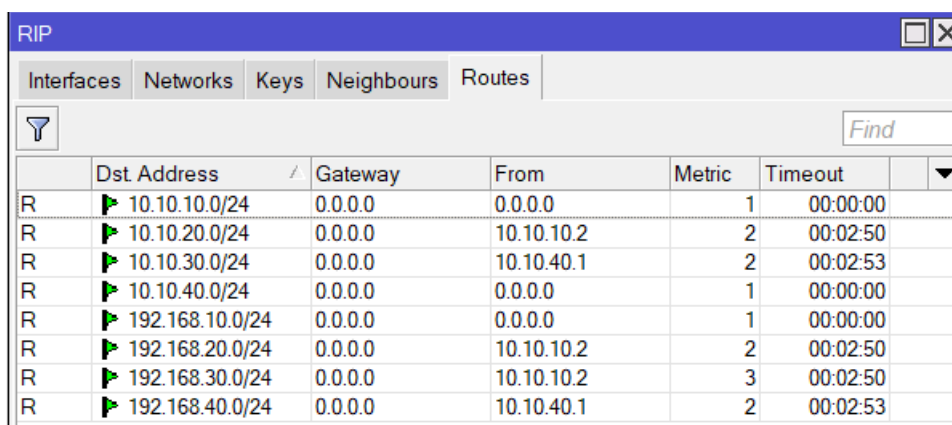
Za početak, na sva četiri usmjerivača postavljen je RIP protokol na način da su se u *address list* za svaki usmjerivač upisale IP adrese i sučelja svih susjednih mreža i uređaja. Također, pod *RIP* -> *Networks* se ponovio postupak. Nakon toga su se u listi usmjerivača pojavile adrese iz mreže zbog toga što je implementiran RIP protokol. Na slici 4.2. vidi se popis adresa u listi usmjerivača R1 na koji je podignut RIP protokol.



| | Dst. Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref. Source |
|-----|-----------------|---------------------------|----------|--------------|--------------|
| DAC | 10.10.10.0/24 | lan2 reachable | 0 | | 10.10.10.1 |
| DAr | 10.10.20.0/24 | 10.10.10.2 reachable lan2 | 120 | | |
| DAr | 10.10.30.0/24 | 10.10.40.1 reachable lan1 | 120 | | |
| DAC | 10.10.40.0/24 | lan1 reachable | 0 | | 10.10.40.2 |
| DAC | 192.168.10.0/24 | local reachable | 0 | | 192.168.10.1 |
| DAr | 192.168.20.0/24 | 10.10.10.2 reachable lan2 | 120 | | |
| DAr | 192.168.30.0/24 | 10.10.10.2 reachable lan2 | 120 | | |
| DAr | 192.168.40.0/24 | 10.10.40.1 reachable lan1 | 120 | | |

Slika 4.2. Routelist RIP-R1

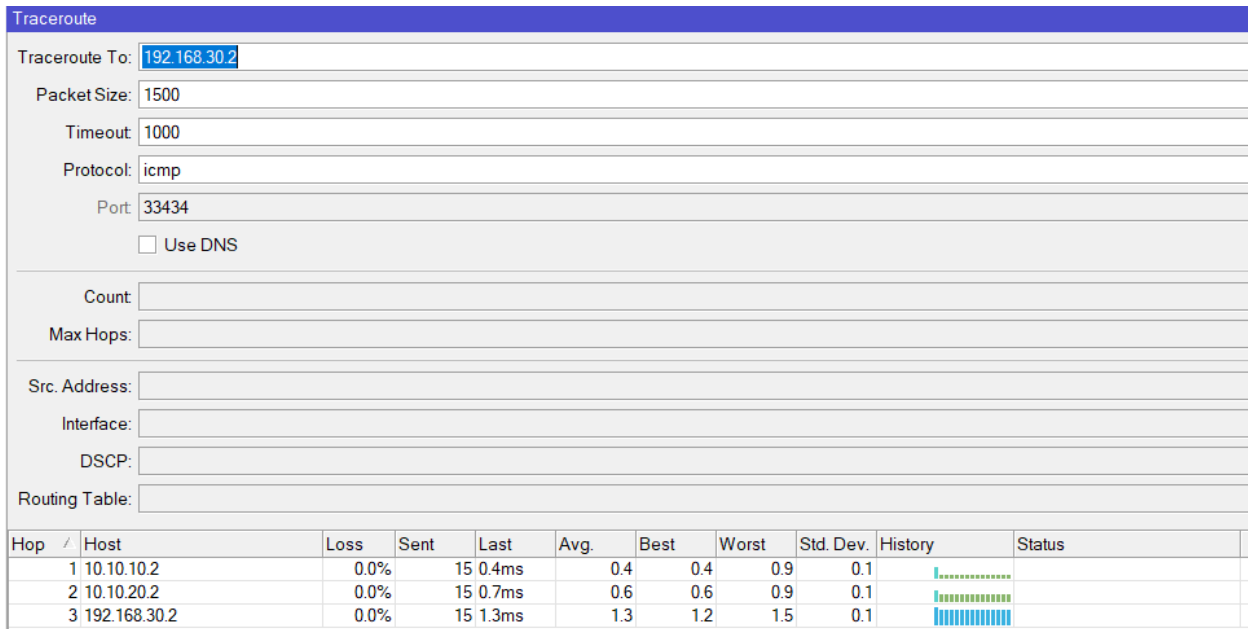
Na slici 4.3. vidi se tablica usmjeravanja za usmjerivač R1 na koji je podignut RIP protokol.



| | Dst. Address | Gateway | From | Metric | Timeout |
|---|-----------------|---------|------------|--------|----------|
| R | 10.10.10.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | 10.10.20.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.10.2 | 2 | 00:02:50 |
| R | 10.10.30.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.40.1 | 2 | 00:02:53 |
| R | 10.10.40.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | 192.168.10.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | 192.168.20.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.10.2 | 2 | 00:02:50 |
| R | 192.168.30.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.10.2 | 3 | 00:02:50 |
| R | 192.168.40.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.40.1 | 2 | 00:02:53 |

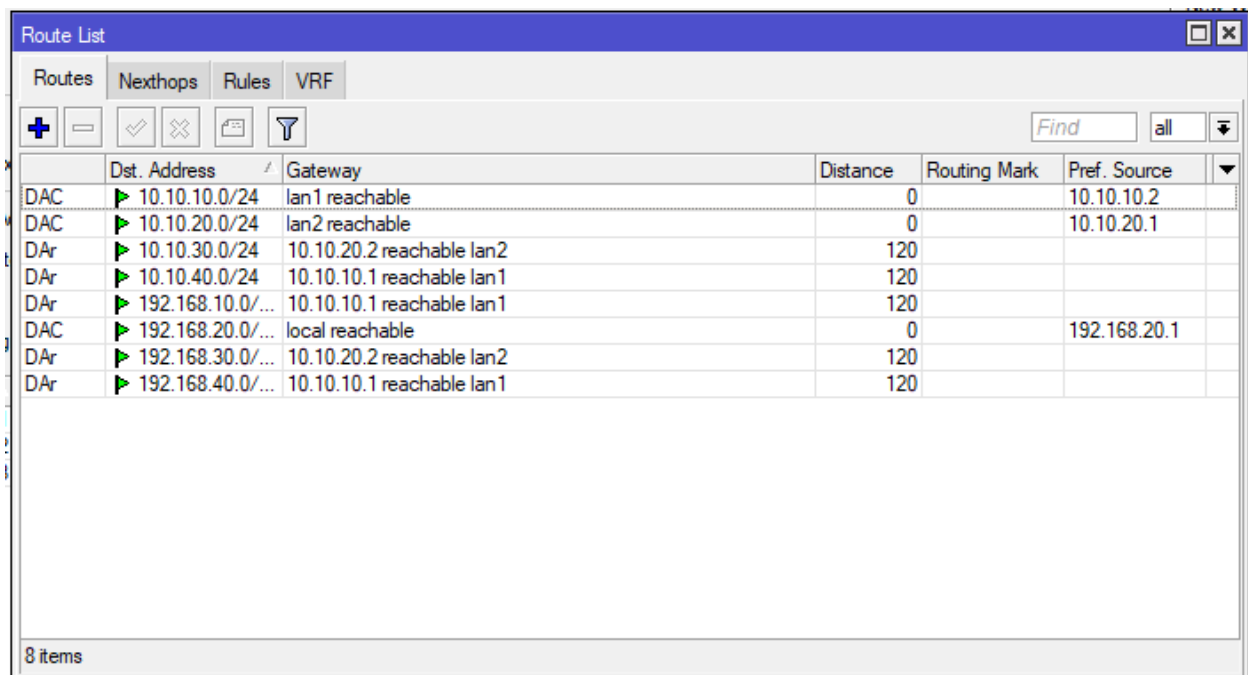
Slika 4.3. RIP Routes-R1

Nakon implementacije RIP protokola pristupilo se testiranju mreže. Korištena je naredba *traceroute* kojom se poslalo 15 paketa veličine 1500 bajtova s usmjerivača R1 na usmjerivač R3. Na slici 4.4 vidi se putanja paketa, postotak izgubljenih paketa, broj skokova i vrijeme potrebno da paketi stignu na odredište.



Slika 4.4. Traceroute RIP-R1

Na slici 4.5. vidi se popis adresa u listi usmjerivača R2 na koji je podignut RIP protokol.



Slika 4.5. Routelist RIP-R2

Na slici 4.6. vidi se tablica usmjeravanja za usmjerivač R2 na koji je podignut RIP protokol.

| | Dst. Address | Gateway | From | Metric | Timeout |
|---|-----------------|---------|------------|--------|----------|
| R | 10.10.10.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | 10.10.20.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | 10.10.30.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.20.2 | 2 | 00:02:55 |
| R | 10.10.40.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.10.1 | 2 | 00:02:50 |
| R | 192.168.10.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.10.1 | 2 | 00:02:50 |
| R | 192.168.20.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | 192.168.30.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.20.2 | 2 | 00:02:55 |
| R | 192.168.40.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.10.1 | 3 | 00:02:50 |

8 items

Slika 4.6. RIP Routes-R2

Korištena je naredba *traceroute* kojom se poslalo 16 paketa veličine 1500 bajtova s usmjerivača R2 na usmjerivač R4. Na slici 4.7. vidi se putanja paketa, postotak izgubljenih paketa, broj skokova i vrijeme potrebno da paketi stignu na odredište.

| Hop | Host | Loss | Sent | Last | Avg. | Best | Worst | Std. Dev. | History | Status |
|-----|--------------|------|------|-------|------|------|-------|-----------|---------|--------|
| 1 | 10.10.10.1 | 0.0% | 16 | 0.4ms | 0.4 | 0.4 | 0.9 | 0.1 | ----- | |
| 2 | 10.10.40.1 | 0.0% | 16 | 0.6ms | 0.6 | 0.6 | 0.9 | 0.1 | ----- | |
| 3 | 192.168.40.2 | 0.0% | 16 | 1.6ms | 1.6 | 1.5 | 1.8 | 0.1 | | |

Slika 4.7. Traceroute RIP-R2

Na slici 4.8. vidi se popis adresa u listi usmjerivača R3 na koji je podignut RIP protokol.

| | Dst. Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref. Source |
|-----|--------------------|---------------------------|----------|--------------|--------------|
| DAr | ▶ 10.10.10.0/24 | 10.10.20.1 reachable lan1 | 120 | | |
| DAC | ▶ 10.10.20.0/24 | lan1 reachable | 0 | | 10.10.20.2 |
| DAC | ▶ 10.10.30.0/24 | lan2 reachable | 0 | | 10.10.30.1 |
| DAr | ▶ 10.10.40.0/24 | 10.10.30.2 reachable lan2 | 120 | | |
| DAr | ▶ 192.168.10.0/... | 10.10.30.2 reachable lan2 | 120 | | |
| DAr | ▶ 192.168.20.0/... | 10.10.20.1 reachable lan1 | 120 | | |
| DAC | ▶ 192.168.30.0/... | local reachable | 0 | | 192.168.30.1 |
| DAr | ▶ 192.168.40.0/... | 10.10.30.2 reachable lan2 | 120 | | |

8 items

Slika 4.8. Routelist RIP-R3

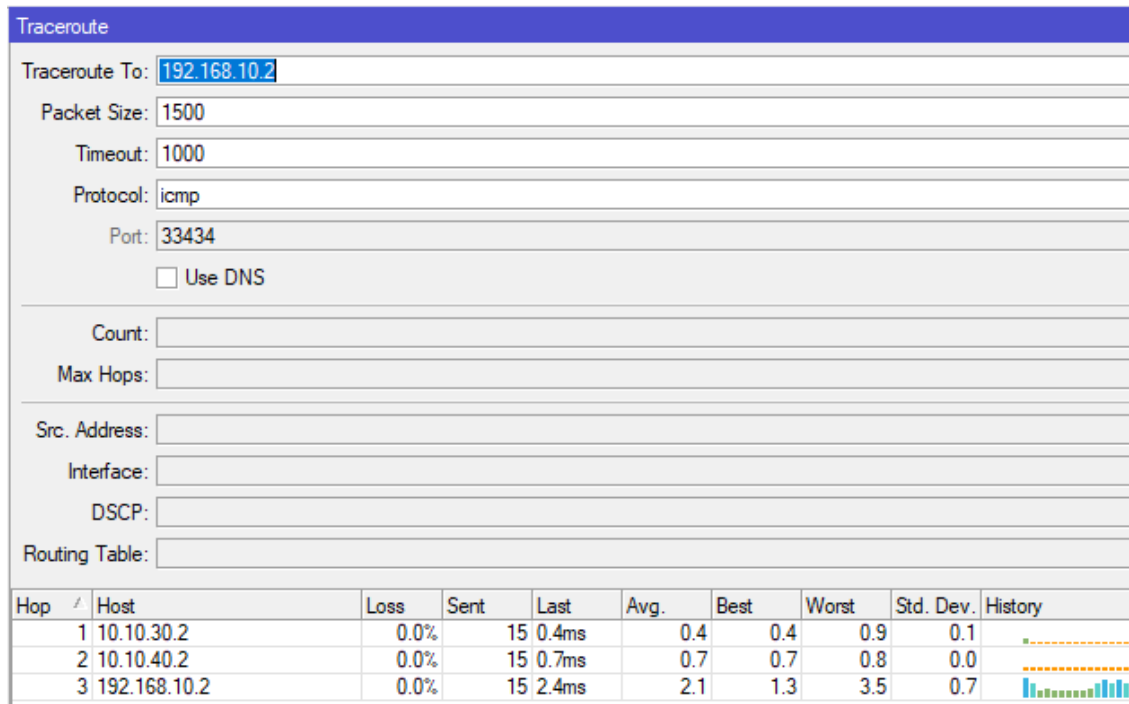
Na slici 4.9. vidi se tablica usmjeravanja za usmjerivač R3 na koji je podignut RIP protokol.

| | Dst. Address | Gateway | From | Metric | Timeout |
|---|-------------------|---------|------------|--------|----------|
| R | ▶ 10.10.10.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.20.1 | 2 | 00:02:39 |
| R | ▶ 10.10.20.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | ▶ 10.10.30.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | ▶ 10.10.40.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.30.2 | 2 | 00:02:44 |
| R | ▶ 192.168.10.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.30.2 | 3 | 00:02:44 |
| R | ▶ 192.168.20.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.20.1 | 2 | 00:02:39 |
| R | ▶ 192.168.30.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | ▶ 192.168.40.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.30.2 | 2 | 00:02:44 |

8 items

Slika 4.9. RIP Routes-R3

Korištena je naredba *traceroute* kojom se poslalo 15 paketa veličine 1500 bajtova s usmjerivača R3 na usmjerivač R1. Na slici 4.10. vidi se putanja paketa, postotak izgubljenih paketa, broj skokova i vrijeme potrebno da paketi stignu na odredište.



Slika 4.10. Traceroute RIP-R3

Na slici 4.11. vidi se popis adresa u listi usmjerivača R4 na koji je podignut RIP protokol.

| | Dst Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref. Source |
|-----|-----------------|---------------------------|----------|--------------|--------------|
| DAr | 10.10.10.0/24 | 10.10.40.2 reachable lan2 | 120 | | |
| DAr | 10.10.20.0/24 | 10.10.30.1 reachable lan1 | 120 | | |
| DAC | 10.10.30.0/24 | lan1 reachable | 0 | | 10.10.30.2 |
| DAC | 10.10.40.0/24 | lan2 reachable | 0 | | 10.10.40.1 |
| DAr | 192.168.10.0/24 | 10.10.40.2 reachable lan2 | 120 | | |
| DAr | 192.168.20.0/24 | 10.10.40.2 reachable lan2 | 120 | | |
| DAr | 192.168.30.0/24 | 10.10.30.1 reachable lan1 | 120 | | |
| DAC | 192.168.40.0/24 | local reachable | 0 | | 192.168.40.1 |

Slika 4.11. Routelist RIP-R4

Na slici 4.12. vidi se tablica usmjeravanja za usmjerivač R4 na koji je podignut RIP protokol.

| | Dst. Address | Gateway | From | Metric | Timeout |
|---|-----------------|---------|------------|--------|----------|
| R | 10.10.10.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.40.2 | 2 | 00:02:43 |
| R | 10.10.20.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.30.1 | 2 | 00:02:31 |
| R | 10.10.30.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | 10.10.40.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |
| R | 192.168.10.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.40.2 | 2 | 00:02:43 |
| R | 192.168.20.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.40.2 | 3 | 00:02:43 |
| R | 192.168.30.0/24 | 0.0.0.0 | 10.10.30.1 | 2 | 00:02:31 |
| R | 192.168.40.0/24 | 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 1 | 00:00:00 |

Slika 4.12. RIP Routes-R4

Korištena je naredba *traceroute* kojom se poslalo 15 paketa veličine 1500 bajtova s usmjerivača R4 na usmjerivač R1. Na slici 4.13. vidi se putanja paketa, postotak izgubljenih paketa, broj skokova i vrijeme potrebno da paketi stignu na odredište.

| Hop | Host | Loss | Sent | Last | Avg. | Best | Worst | Std. Dev. | History | S |
|-----|--------------|------|------|-------|------|------|-------|-----------|---------|---|
| 1 | 10.10.40.2 | 0.0% | 15 | 0.4ms | 0.5 | 0.4 | 0.9 | 0.2 | | |
| 2 | 10.10.10.2 | 0.0% | 15 | 0.7ms | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 0.1 | | |
| 3 | 192.168.20.2 | 0.0% | 15 | 1.8ms | 1.8 | 1.4 | 2.2 | 0.2 | | |

Slika 4.13. Traceroute RIP-R4

Nakon testiranja RIP protokola pristupilo se postavljanju OSPF protokola na sva četiri usmjerivača na način da su se u *address list* za svaki usmjerivač upisale IP adrese i sučelja svih susjednih mreža i uređaja. Također, pod *OSPF* -> *Networks* se ponovio postupak. Nakon toga su se u listi usmjerivača pojavile adrese iz mreže zbog toga što je implementiran OSPF protokol. Na slici 4.14. vidi se popis adresa u listi usmjerivača R1 na koji je podignut OSPF protokol.

admin@64:D1:54:D4:6A:81 (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.36.4 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)
 Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: 64:D1:54:D4:6A:81

Route List

| | Routes | Nexthops | Rules | VRF | |
|-----|-----------------|--|----------|--------------|--------------|
| | Dst. Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref. Source |
| DAC | 10.10.10.0/24 | ether3 reachable | 0 | | 10.10.10.1 |
| DAo | 10.10.20.0/24 | 10.10.10.2 reachable ether3 | 110 | | |
| DAo | 10.10.30.0/24 | 10.10.40.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAC | 10.10.40.0/24 | ether4 reachable | 0 | | 10.10.40.2 |
| DAC | 192.168.10.0/24 | bridge1 reachable | 0 | | 192.168.10.2 |
| DAo | 192.168.20.0/24 | 10.10.10.2 reachable ether3 | 110 | | |
| DAo | 192.168.30.0/24 | 10.10.10.2 reachable ether3, 10.10.40.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAo | 192.168.40.0/24 | 10.10.40.1 reachable ether4 | 110 | | |

Slika 4.14. Routelist OSPF-R1

Na slici 4.15. vidi se tablica usmjeravanja za usmjerivač R1 na koji je podignut OSPF protokol.

admin@64:D1:54:D4:6A:81 (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.36.4 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)
 Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: 64:D1:54:D4:6A:81

OSPF

| Instance | Area | Dst Address | Gateway | Interface | Cost | State |
|----------|----------|-----------------|-------------------|----------------|------|------------|
| default | backbone | 192.168.10.0/24 | 0.0.0.0 | bridge1 | 1 | intra area |
| default | backbone | 192.168.40.0/24 | 10.10.40.1 | ether4 | 2 | intra area |
| default | backbone | 192.168.30.0/24 | 10.10.10.2, 10... | ether3, ether4 | 3 | intra area |
| default | backbone | 10.10.40.0/24 | 0.0.0.0 | ether4 | 1 | intra area |
| default | backbone | 192.168.20.0/24 | 10.10.10.2 | ether3 | 2 | intra area |
| default | backbone | 10.10.10.0/24 | 0.0.0.0 | ether3 | 1 | intra area |
| default | backbone | 10.10.20.0/24 | 10.10.10.2 | ether3 | 2 | intra area |
| default | backbone | 10.10.30.0/24 | 10.10.40.1 | ether4 | 2 | intra area |

Slika 4.15. OSPF Routes-R1

Nakon implementacije OSPF protokola pristupilo se testiranju mreže. Korištena je naredba *traceroute* kojom se poslalo 20 paketa veličine 1500 bajtova s usmjerivača R1 na usmjerivač R3. Na slici 4.16. vidi se putanja paketa, postotak izgubljenih paketa, broj skokova i vrijeme potrebno da paketi stignu na odredište.

admin@64:D1:54:D4:6A:81 (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.36.4 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)

Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: 64:D1:54:D4:6A:81

Traceroute

Traceroute To: 192.168.30.2

Packet Size: 1500

Timeout: 1000

Protocol: icmp

Port: 33434

Use DNS

Count:

Max Hops:

Src. Address: 192.168.10.2

Interface:

DSCP:

Routing Table:

| Hop | / | Host | Loss | Sent | Last | Avg. | Best | Worst | Std. Dev. | History | St |
|-----|---|--------------|------|------|-------|------|------|-------|-----------|---------|----|
| 1 | | 10.10.10.2 | 0.0% | 20 | 0.4ms | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.1 | | |
| 2 | | 192.168.30.2 | 0.0% | 20 | 0.8ms | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.0 | | |

Slika 4.16. Traceroute OSPF-R1

Na slici 4.17. vidi se popis adresa u listi usmjerivača R2 na koji je podignut OSPF protokol.

admin@D4:CA:6D:FC:10:87 (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.5 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)

Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: D4:CA:6D:FC:10:87

Route List

Routes Nexthops Rules VRF

| | Dist. | Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref. Source |
|-----|-------|------------------|--|----------|--------------|--------------|
| DAC | ▶ | 10.10.10.0/24 | ether4 reachable | 0 | | 10.10.10.2 |
| DAC | ▶ | 10.10.20.0/24 | ether3 reachable | 0 | | 10.10.20.1 |
| DAo | ▶ | 10.10.30.0/24 | 10.10.20.2 reachable ether3 | 110 | | |
| DAo | ▶ | 10.10.40.0/24 | 10.10.10.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAo | ▶ | 192.168.10.0/... | 10.10.10.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAC | ▶ | 192.168.20.0/... | bridge1 reachable | 0 | | 192.168.20.2 |
| DAo | ▶ | 192.168.30.0/... | 10.10.20.2 reachable ether3 | 110 | | |
| DAo | ▶ | 192.168.40.0/... | 10.10.10.1 reachable ether4, 10.10.20.2 reachable ether3 | 110 | | |

Slika 4.17. Routelist OSPF-R2

Na slici 4.18. vidi se tablica usmjeravanja za usmjerivač R2 na koji je podignut OSPF protokol.

admin@D4:CA:6D:FC:10:87 (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.5 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)
 Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: D4:CA:6D:FC:10:87

Quick Set OSPF

Interfaces Instances Networks Areas Area Ranges Virtual Links Neighbors NBMA Neighbors Sham Links LSA Routes AS

| Instance | Area | Dst. Address | Gateway | Interface | Cost | State |
|-----------|----------|-----------------|------------------|----------------|------|------------|
| ▶ default | backbone | 10.10.30.0/24 | 10.10.20.2 | ether3 | 2 | intra area |
| ▶ default | backbone | 192.168.20.0/24 | 0.0.0.0 | bridge1 | 1 | intra area |
| ▶ default | backbone | 10.10.20.0/24 | 0.0.0.0 | ether3 | 1 | intra area |
| ▶ default | backbone | 192.168.10.0/24 | 10.10.10.1 | ether4 | 2 | intra area |
| ▶ default | backbone | 10.10.10.0/24 | 0.0.0.0 | ether4 | 1 | intra area |
| ▶ default | backbone | 10.10.40.0/24 | 10.10.10.1 | ether4 | 2 | intra area |
| ▶ default | backbone | 192.168.30.0/24 | 10.10.20.2 | ether3 | 2 | intra area |
| ▶ default | backbone | 192.168.40.0/24 | 10.10.10.1, 1... | ether4, eth... | 3 | intra area |

Slika 4.18. OSPF Routes-R2

Korištena je naredba traceroute kojom se poslalo 20 paketa veličine 1500 bajtova s usmjerivača R2 na usmjerivač R4. Na slici 4.19. vidi se putanja paketa, postotak izgubljenih paketa, broj skokova i vrijeme potrebno da paketi stignu na odredište.

admin@D4:CA:6D:FC:10:87 (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.5 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)
 Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: D4:CA:6D:FC:10:87

Quick Set Traceroute

Traceroute To: 192.168.40.2

Packet Size: 1500

Timeout: 1000

Protocol: icmp

Port: 33434

Use DNS

Count:

Max Hops:

Src. Address: 192.168.20.2

Interface:

DSCP:

Routing Table:

| Hop | Host | Loss | Sent | Last | Avg. | Best | Worst | Std. Dev. | History | St |
|-----|--------------|------|------|-------|------|------|-------|-----------|---------|----|
| 1 | 10.10.20.2 | 0.0% | 20 | 0.4ms | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.1 | | |
| 2 | 192.168.40.2 | 0.0% | 20 | 0.8ms | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.0 | | |

Slika 4.19. Traceroute OSPF-R2

Na slici 4.20. vidi se popis adresa u listi usmjerivača R3 na koji je podignut OSPF protokol.

admin@E4:8D:8C:86:EB:6F (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.23 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)
 Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: E4:8D:8C:86:EB:6F

Quick Set
 Interfaces
 Wireless
 Bridge
 PPP
 Switch
 Mesh
 IP
 MPLS
 Routing
 System
 Queues

Route List

Routes Nexthops Rules VRF

| | Dst. Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref. Source |
|-----|------------------|--|----------|--------------|--------------|
| DAo | 10.10.10.0/24 | 10.10.20.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAC | 10.10.20.0/24 | ether4 reachable | 0 | | 10.10.20.2 |
| DAC | 10.10.30.0/24 | ether3 reachable | 0 | | 10.10.30.1 |
| DAo | 10.10.40.0/24 | 10.10.30.2 reachable ether3 | 110 | | |
| DAo | 192.168.10.0/... | 10.10.20.1 reachable ether4, 10.10.30.2 reachable ether3 | 110 | | |
| DAo | 192.168.20.0/... | 10.10.20.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAC | 192.168.30.0/... | bridge1 reachable | 0 | | 192.168.30.2 |
| DAo | 192.168.40.0/... | 10.10.30.2 reachable ether3 | 110 | | |

Slika 4.20. Routelist OSPF-R3

Na slici 4.21. vidi se tablica usmjeravanja za usmjerivač R3 na koji je podignut OSPF protokol.

admin@E4:8D:8C:86:EB:6F (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.23 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)
 Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: E4:8D:8C:86:EB:6F

Quick Set
 Interfaces
 Wireless
 Bridge
 PPP
 Switch
 Mesh
 IP
 MPLS
 Routing
 System
 Queues

OSPF

Interfaces Instances Networks Areas Area Ranges Virtual Links Neighbors NBMA Neighbors Sham Links LSA Routes

| Instance | Area | Dst. Address | Gateway | Interface | Cost | State |
|----------|----------|-----------------|------------------|----------------|------|------------|
| default | backbone | 10.10.20.0/24 | 0.0.0.0 | ether4 | 1 | intra area |
| default | backbone | 10.10.30.0/24 | 0.0.0.0 | ether3 | 1 | intra area |
| default | backbone | 192.168.10.0/24 | 10.10.20.1, 1... | ether4, eth... | 3 | intra area |
| default | backbone | 192.168.20.0/24 | 10.10.20.1 | ether4 | 2 | intra area |
| default | backbone | 10.10.10.0/24 | 10.10.20.1 | ether4 | 2 | intra area |
| default | backbone | 10.10.40.0/24 | 10.10.30.2 | ether3 | 2 | intra area |
| default | backbone | 192.168.40.0/24 | 10.10.30.2 | ether3 | 2 | intra area |
| default | backbone | 192.168.30.0/24 | 0.0.0.0 | bridge1 | 1 | intra area |

Slika 4.21. OSPF Routes-R3

Korištena je naredba traceroute kojom se poslalo 20 paketa veličine 1500 bajtova s usmjerivača R3 na usmjerivač R1. Na slici 4.22. vidi se putanja paketa, postotak izgubljenih paketa, broj skokova i vrijeme potrebno da paketi stignu na odredište.

admin@E4:8D:8C:86:EB:6F (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.23 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)
 Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: E4:8D:8C:86:EB:6F

Quick Set
 Interfaces
 Wireless
 Bridge
 PPP
 Switch
 Mesh
 IP
 MPLS
 Routing
 System
 Queues
 Files
 Log
 Radius
 Tools
 New Terminal
 MetaROUTER
 Partition

Traceroute

Traceroute To: 192.168.10.2
 Packet Size: 1500
 Timeout: 1000
 Protocol: icmp
 Port: 33434
 Use DNS

Count:
 Max Hops:
 Src. Address: 192.168.30.2
 Interface:
 DSCP:
 Routing Table:
 Routing Table:

| Hop | Host | Loss | Sent | Last | Avg. | Best | Worst | Std. Dev. | History |
|-----|--------------|------|------|-------|------|------|-------|-----------|----------------------|
| 1 | 10.10.20.1 | 0.0% | 20 | 0.4ms | 0.4 | 0.4 | 0.8 | 0.1 | ████████████████████ |
| 2 | 192.168.10.2 | 0.0% | 20 | 0.9ms | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.0 | ████████████████████ |

Slika 4.22. Traceroute OSPF-R3

Na slici 4.23. vidi se popis adresa u listi usmjerivača R4 na koji je podignut OSPF protokol.

admin@E4:8D:8C:86:EB:2D (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.23 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)
 Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: E4:8D:8C:86:EB:2D

Quick Set
 Interfaces
 Wireless
 Bridge
 PPP
 Switch
 Mesh
 IP
 MPLS
 Routing
 System

Route List

Routes Nexthops Rules VRF

+ = ✓ ✕ 📄 🔍

| | Dst. Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref. Source |
|-----|-------------------|--|----------|--------------|--------------|
| DAo | ▶ 10.10.10.0/24 | 10.10.40.2 reachable ether3 | 110 | | |
| DAo | ▶ 10.10.20.0/24 | 10.10.30.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAC | ▶ 10.10.30.0/24 | ether4 reachable | 0 | | 10.10.30.2 |
| DAC | ▶ 10.10.40.0/24 | ether3 reachable | 0 | | 10.10.40.1 |
| DAo | ▶ 192.168.10.0/24 | 10.10.40.2 reachable ether3 | 110 | | |
| DAo | ▶ 192.168.20.0/24 | 10.10.40.2 reachable ether3, 10.10.30.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAo | ▶ 192.168.30.0/24 | 10.10.30.1 reachable ether4 | 110 | | |
| DAC | ▶ 192.168.40.0/24 | bridge1 reachable | 0 | | 192.168.40.2 |

Slika 4.23. Routelist OSPF-R4

Na slici 4.24. vidi se tablica usmjeravanja za usmjerivač R4 na koji je podignut OSPF protokol.

admin@E4:8D:8C:86:EB:2D (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.23 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)

Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: E4:8D:8C:86:EB:2D

OSPF

| Instance | Area | Dst Address | Gateway | Interface | Cost | State |
|----------|----------|-----------------|-------------------|----------------|------|------------|
| default | backbone | 192.168.30.0/24 | 10.10.30.1 | ether4 | 2 | intra area |
| default | backbone | 10.10.40.0/24 | 0.0.0.0 | ether3 | 1 | intra area |
| default | backbone | 192.168.10.0/24 | 10.10.40.2 | ether3 | 2 | intra area |
| default | backbone | 192.168.20.0/24 | 10.10.30.1, 10... | ether4, ether3 | 3 | intra area |
| default | backbone | 10.10.10.0/24 | 10.10.40.2 | ether3 | 2 | intra area |
| default | backbone | 10.10.20.0/24 | 10.10.30.1 | ether4 | 2 | intra area |
| default | backbone | 10.10.30.0/24 | 0.0.0.0 | ether4 | 1 | intra area |
| default | backbone | 192.168.40.0/24 | 0.0.0.0 | bridge1 | 1 | intra area |

Slika 4.24. OSPF Routes-R4

Korištena je naredba traceroute kojom se poslalo 20 paketa veličine 1500 bajtova s usmjerivača R4 na usmjerivač R2. Na slici 4.25. vidi se putanja paketa, postotak izgubljenih paketa, broj skokova i vrijeme potrebno da paketi stignu na odredište.

admin@E4:8D:8C:86:EB:2D (MikroTik) - WinBox (64bit) v6.23 on RB951Ui-2HnD (mipsbe)

Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: E4:8D:8C:86:EB:2D

Traceroute

Traceroute To: 192.168.20.2

Packet Size: 1500

Timeout: 1000

Protocol: icmp

Port: 33434

Use DNS

Count:

Max Hops:

Src. Address: 192.168.40.2

Interface:

DSCP:

Routing Table:

| Hop | Host | Loss | Sent | Last | Avg. | Best | Worst | Std. Dev. | History |
|-----|--------------|------|------|-------|------|------|-------|-----------|---------|
| 1 | 10.10.30.1 | 0.0% | 20 | 0.4ms | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.1 | |
| 2 | 192.168.20.2 | 0.0% | 20 | 0.8ms | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.0 | |

Slika 4.25. Traceroute OSPF-R4

4.2. Usporedba rezultata RIP i OSPF

U tablicama 4.1. – 4.4. prikazana je usporedba rezultata RIP i OSPF protokola kroz broj skokova, prosječno vrijeme potrebno da paket stigne na odredište, broj izgubljenih paketa i standardnu devijaciju vremena. Rezultati pokazuju da korištenjem OSPF protokola paketi na odredište stignu u manje skokova i prosječno u kraćem vremenu.

| Protokol | Broj skokova | Prosječno vrijeme | Izgubljeni paketi | Standardna devijacija |
|-------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| RIP | 3 | 1.3 | 0 | 0.1 |
| OSPF | 2 | 0.8 | 0 | 0.0 |

Tablica 4.1. Rezultati za R1

| Protokol | Broj skokova | Prosječno vrijeme | Izgubljeni paketi | Standardna devijacija |
|-------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| RIP | 3 | 1.6 | 0 | 0.1 |
| OSPF | 2 | 0.8 | 0 | 0.0 |

Tablica 4.2. Rezultati za R2

| Protokol | Broj skokova | Prosječno vrijeme | Izgubljeni paketi | Standardna devijacija |
|-------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| RIP | 3 | 2.1 | 0 | 0.7 |
| OSPF | 2 | 0.9 | 0 | 0.0 |

Tablica 4.3. Rezultati za R3

| Protokol | Broj skokova | Prosječno vrijeme | Izgubljeni paketi | Standardna devijacija |
|-------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| RIP | 3 | 1.8 | 0 | 0.2 |
| OSPF | 2 | 0.9 | 0 | 0.0 |

Tablica 4.4. Rezultati za R4

OSPF se očekivano pokazao boljim jer brže konvergira, efikasnije koristi pojasnu širinu te lakše podnosi različite topologije mreže i veće količine prometa.

Standardna devijacija koja je kod RIP protokola na usmjerivaču R3 veća nego kod OSPF protokola pokazuje da se kod korištenja RIP protokola može pojaviti usko grlo. Kod veće količine prometa, RIP protokol pokazuje manjkavosti u smislu da zbog toga što je baziran na vektoru udaljenosti, metrika koju koristi je odabir najkraćeg puta koji možda i nije najbrži tj. najbolji. U testu koji je proveden, OSPF se pokazao boljim jer se prilagodio stanju podatkovnog linka i koristilo se više linkova za slanje paketa pa je i vrijeme kraće.

5. Zaključak

Protokoli dinamičkog usmjeravanja odgovorni su za automatski odabir najboljeg puta kojim će paket biti usmjeren ka odredištu. Razlog zbog kojeg ova vrsta usmjeravanja prednjači nad statičkim usmjeravanjem je što se u slučaju dinamičkog usmjeravanja tablice usmjeravanja osvježavaju automatski, dok s druge strane statičko usmjeravanje zahtijeva da se to učini ručno. Kao najistaknutiji protokoli dinamičkog usmjeravanja navode se RIP i OSPF. Ovaj tip protokola nameće se za korištenje zbog kompleksnosti mrežne topologije, broju mreža te potrebe za brzom prilagodbom.

S obzirom na potrebe organizacija, kao i razvoj novih uređaja te različitosti unutar karakteristika protokola dinamičkog usmjeravanja, navedeni protokoli koriste se za različite mrežne opreme.

RIP koristi dinamički algoritam usmjeravanja koji je utemeljen na vektorima udaljenosti. Svaki usmjerivač održava tablicu udaljenosti do svih odredišta i osvježava je periodičnom razmjenom informacija sa susjednim usmjeriteljima. Ovaj protokol šalje poruku svim susjednim usmjeriteljima prilikom pokretanja kako bi dobio kopije njihovih tablica usmjeravanja. Kada se nalazi u aktivnom stanju, RIP šalje svoju tablicu svakih trideset sekundi, a pri promjeni metrike odmah obavještava susjedne usmjeritelje. Nakon što dobije kopiju od susjednog usmjerivača, uspoređuje je sa svojom i ažurira svoju tablicu. RIP ne uzima u obzir propusnost linkova, a ni vrijeme konvergencije nije stalno.

S druge strane, OSPF koristi dinamički algoritam usmjeravanja utemeljen na stanju linka. Osim propusnosti linka, ovaj protokol uzima u obzir i topologiju mreže. Mreža se dijeli na područja, a usmjerivači šalju podatke isključivo pri promjenama u mreži.

Rezultat toga je neperiodično ažuriranje. Tijekom komunikacije s drugim usmjerniteljima OSPF šalje samo stanje pojedinog linka, a to smanjuje opterećenje mreže i omogućava bržu konvergenciju nakon promjene topologije. OSPF podržava usmjeravanje prema tipu usluge kao i balansiranje opterećenja što mu omogućava odabir različitih ruta za različite vrste usluga.

Iako su RIP i OSPF od izuzetne važnosti za usmjeravanje u računalnim mrežama, prikladniji su za različite vrste mreža i zahtjeva. RIP se ističe jednostavnošću, dok OSPF nudi više mogućnosti kada je riječ o velikim i složenim mrežama. S obzirom na sve karakteristike, važno je odabrati koji protokol odgovara potrebama i karakteristike određene mreže.

LITERATURA

- [1] https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9781587132063/samplechapter/1587132060_03.pdf
- [2] <https://fortinetweb.s3.amazonaws.com/docs.fortinet.com/v2/attachments/4afb0436-a998-11e9-81a4-00505692583a/FortiOS-6.0-Handbook.pdf>
- [3] <https://www.ciscopress.com/articles/printerfriendly/2180210>
- [4] <https://www.ijert.org/research/survey-on-dynamic-routing-protocols-IJERTV5IS010028.pdf>
- [5] https://wiki.mikrotik.com/wiki/Main_Page
- [6] https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Route_Selection_Algorithm_in_RouterOS
- [7] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.736.6689&rep=rep1&type=pdf>
- [8] https://www.youtube.com/watch?v=FwfmngIsqp4&ab_channel=MAICTConsult
- [9] https://www.youtube.com/watch?v=ckKmxjjoIpI&ab_channel=MAICTConsult
- [10] <https://www.youtube.com/c/TKSJa/videos>
- [11] <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/stub-network>
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Route_flapping
- [13] <https://operavps.com/docs/what-is-winbox/?fbclid=IwAR3zvL-rq2BI-rJIrV4fbKUMdsQr0sAzLXfwdjCenMmcGgF-UnNI0Qnx314>
- [14] Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb, 2020., *Višemedijske komunikacije, Višeodredišno razaslanje IP multicast*, Zagreb

SAŽETAK

Naslov: Protokoli dinamičkog usmjeravanja

Put paketa do odredišta od ključne je važnosti za uspješnu komunikaciju, a odgovornost za to preuzimaju protokoli usmjeravanja. U radu su opisane vrste statičkih i dinamičkih protokola usmjeravanja, njihove prednosti i nedostaci, kao i karakteristike po kojima je moguće odabrati koji od njih je ispravna opcija za koju mrežnu infrastrukturu. Na MikroTik opremi uz programsku podršku *WinBox* testirani su i uspoređeni rezultati za RIP i OSPF protokole.

Ključne riječi: protokol, metrika, konvergencija, dinamičko usmjeravanje, vektor udaljenosti, stanje podatkovnog linka, RIP, OSPF, WinBox

ABSTRACT

Title: Dynamic routing protocols

The path of the package to the destination is of crucial importance for successful communication, which is routing protocols' responsibility. The thesis describes the types of static and dynamic routing protocols, their advantages and disadvantages, as well as the characteristics by which it is possible to choose which one is the correct option for which network infrastructure. The results for RIP and OSPF protocols were tested and compared on MikroTik equipment with WinBox software support.

Key words: protocol, metrics, convergence, dynamic routing, distance vector, link state, RIP, OSPF, WinBox

ŽIVOTOPIS

Stjepan Barišić rođen je 25. lipnja 1996. u Osijeku. U Osijeku završava osnovnu školu „Frana Krste Frankopana“ te 2011. upisuje Prirodoslovno-matematičku gimnaziju. 2015. ostvaruje upis na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, smjer elektrotehnika koji završava 2019. godine sa završnim radom na temu Optimizacija rada telekomunikacijskog sustava u kriznoj situaciji. Iste godine upisuje svečilišni diplomski studij, komunikacije i informatika, smjer mrežne tehnologije. Od rujna 2022. godine zaposlen u Ericsson Nikola Tesla Servisi gdje se bavi projektiranjem elektroničke komunikacijske infrastrukture do danas.