

# Odlučivanje o implementaciji protokola za dinamičko usmjeravanje temeljenoj na tehničkim značajkama protokola

---

Čavala, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:119:983509>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Tomislav Čavala**

**ODLUČIVANJE O IMPLEMENTACIJI PROTOKOLA ZA  
DINAMIČKO USMJERAVANJE TEMELJENOJ NA TEHNIČKIM  
ZNAČAJKAMA PROTOKOLA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2018.**

Zagreb, 22. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa I**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 4560**

Pristupnik: **Tomislav Čavala (0135228876)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Odlučivanje o implementaciji protokola za dinamičko usmjeravanje temeljenoj na tehničkim značajkama protokola**

### Opis zadatka:

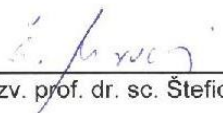
Prikazati značajke usmjeravanja u paketskoj mreži te klasificirati protokole usmjeravanja prema različitim kriterijima (svrha, način rada i ponašanje).

Analizirati značajke protokola za dinamičko usmjeravanje prometa te načiniti analizu mrežnih performansi s obzirom na aktivnosti mrežne konvergencije, trajanje konvergencije, promet koji generira protokol, opterećenje CPU-a, zauzeće kapaciteta mreže, propusnost i kašnjenje, u slučaju implementacije različitih protokola dinamičkog usmjeravanja.

Temeljem provedene analize performansi načiniti komparaciju korištenih protokola.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**ODLUČIVANJE O IMPLEMENTACIJI PROTOKOLA ZA DINAMIČKO  
USMJERAVANJE TEMELJENOJ NA TEHNIČKIM ZNAČAJKAMA  
PROTOKOLA**

**DYNAMIC ROUTING PROTOCOL IMPLEMENTATION DECISION BASED  
ON TECHNICAL BACKGROUND**

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

Student: Tomislav Čavala, 0135228876

**Zagreb, srpanj 2018.**

# ODLUČIVANJE O IMPLEMENTACIJI PROTOKOLA ZA DINAMIČKO USMJERAVANJE TEMELJENOJ NA TEHNIČKIM ZNAČAJKAMA PROTOKOLA

## SAŽETAK

Povećanjem broja radnih mjesta i organizacija koja koriste računala, raste i potreba za njihovom kvalitetnom i pouzdanom međusobnom komunikacijom. U velikim računalnim mrežama, mrežni administratori oslanjaju se na dinamičke protokole za usmjeravanje koji omogućuju automatsko ažuriranje tablica usmjeravanja u ruterima. Kako bi ruteri mogli efikasno usmjeravati informacijsko-komunikacijski promet koji generiraju zaposlenici neke tvrtke, odluka o implementaciji protokola usmjeravanja postaje element koji će odlučiti uspješnost dizajnirane računalne mreže. Teoretski dio obuhvaća klasifikaciju protokola usmjeravanja prema različitim kriterijima s naglaskom na dinamičke protokole. U praktičnom dijelu ovog rada implementiraju se najznačajniji dinamički protokoli usmjeravanja unutar jednog autonomnog sustava (RIP, EIGRP, OSPF) koristeći programsku podršku Riverbed Modeler te se zatim uspoređuju njihove tehničke karakteristike poput trajanja intervala aktivnosti mrežne konvergencije, opterećenja CPU-a, zauzeća kapaciteta mreže, propusnosti i kašnjenja.

**KLJUČNE RIJEČI:** dinamičko usmjeravanje; tablice usmjeravanja; RIP; EIGRP; OSPF; Riverbed Modeler

# **DYNAMIC ROUTING PROTOCOL IMPLEMENTATION DECISION BASED ON TECHNICAL BACKGROUND**

## **SUMMARY**

By increasing the number of workplaces and organizations where computers are used, there is a growing need for high-quality and reliable communication. In large computer networks, network administrators rely on dynamic routing protocols, which allow routers to have their routing tables automatically updated and efficiently route traffic generated by users. Dynamic routing protocol implementation decision will determine the performance of designed computer network. The theoretical part covers the classification of routing protocols according to different criteria with emphasis on dynamic protocols. In the practical part of this paper, the most significant dynamic routing protocols (RIP, EIGRP, OSPF) are implemented using the Riverbed Modeler simulation software. Technical characteristics are therefore compared such as network convergence activity, CPU utilization, network bandwidth utilization, throughput and queuing delay.

**KEY WORDS:** dynamic routing; routing table; RIP; EIGRP; OSPF; Riverbed Modeler

## Sadržaj

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Usmjeravanje u paketskim mrežama .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Paketske mreže .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.1. Internet .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2. IP paketi .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Funkcija usmjeravanja .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Uloga rutera .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3.1. Komponente rutera .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3.2. QoS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Klasifikacija protokola usmjeravanja prema različitim kriterijima.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Karakteristike protokola usmjeravanja .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.1. Optimalnost.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.2. Jednostavnost.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.3. Robusnost i stabilnost.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.4. Konvergencija .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Statički algoritmi usmjeravanja.....</b>	<b>9</b>
<b>3.3. Dinamički algoritmi usmjeravanja.....</b>	<b>11</b>
<b>3.3.1. Protokoli vektora udaljenosti .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.2. Protokoli stanja veze.....</b>	<b>13</b>
<b>4. Značajke protokola za dinamičko usmjeravanje prometa .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. RIP .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.1. Način rada .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.2. RIPv1 .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1.3. RIPv2 .....</b>	<b>16</b>

4.1.4. Algoritam Bellman-Ford .....	17
4.2. EIGRP .....	18
4.2.1. Način rada .....	18
4.2.2. DUAL algoritam.....	18
4.2.3. Izračun najkraćeg puta .....	20
4.3. OSPF .....	21
4.3.1. Način rada .....	22
4.3.2. OSPF usmjeravanje .....	22
4.3.3. OSPF paketi .....	22
5. Analiza mreže u slučaju implementacije različitih protokola dinamičkog usmjeravanja	25
5.1. Korištena mrežna topologija.....	25
5.2. Konfiguriranje postavki simulacije .....	26
5.2.1. Podešavanje postavki aplikacija i profila .....	26
5.3. Implementacija dinamičkih protokola usmjeravanja .....	28
5.3.1. Parametri RIP protokola.....	28
5.3.2. Parametri EIGRP protokola.....	29
5.3.3. Parametri OSPF protokola.....	30
5.3.4. Odabir tehničkih značajki za analizu .....	31
5.4. Analiza tehničkih značajki protokola .....	33
5.4.1. Analiza aktivnosti mrežne konvergencije.....	34
5.4.2. Analiza zauzeća kapaciteta mreže, propusnosti i kašnjenja .....	36
5.4.3. Analiza opterećenja CPU-a .....	39
6. Komparacija protokola .....	41
7. Zaključak.....	44
Literatura .....	45



<b>Popis kratica .....</b>	<b>47</b>
<b>Popis slika.....</b>	<b>50</b>
<b>Popis tablica .....</b>	<b>52</b>
<b>Izjava o akademskoj čestitosti i suglasnost .....</b>	<b>53</b>

## 1. Uvod

Jedna od važnih stvari na koju treba obratiti pozornost prilikom dizajna i projektiranja računalnih mreža je odabir protokola usmjeravanja. Protokoli usmjeravanja određuju način na koji ruteri međusobno dijele informacije pomoću kojih se računa najbolja ruta za svako odredište u mreži. Naslov završnog rada je Odlučivanje o implementaciji protokola za dinamičko usmjeravanje temeljenoj na tehničkim značajkama protokola.

Svrha završnog rada je usporediti najznačajnije dinamičke protokole usmjeravanja unutar jednog autonomnog sustava (RIP, EIGRP, OSPF) prema različitim kriterijima. Razmatrajući tehničke karakteristike protokola potrebno je dizajnirati računalnu mrežu i odabrati protokol koji je optimalan za implementaciju na temelju dobivenih rezultata. Za potrebe ispitivanja načina rada i ponašanja navedenih protokola korišten je simulacijski softver *Riverbed Modeler*. Rad je koncipiran u idućih sedam cjelina:

1. Uvod
2. Usmjeravanje u paketskoj mreži
3. Klasifikacija protokola usmjeravanja prema različitim kriterijima
4. Značajke protokola za dinamičko usmjeravanje prometa
5. Analiza mreže u slučaju implementacije različitih protokola dinamičkog usmjeravanja
6. Komparacija protokola
7. Zaključak

Drugo poglavlje pod nazivom Usmjeravanje u paketskoj mreži opisuje koncept rada komutacije paketa koja je dominantan način prijenosa informacija u modernim telekomunikacijskim mrežama. Zatim je opisana funkcija usmjeravanja i uloga rutera u paketskim mrežama i pripadajuće komponente.

Treće poglavlje Klasifikacija protokola usmjeravanja prema različitim kriterijima opisuje statičke i dinamičke algoritme usmjeravanja (protokoli vektora udaljenosti, protokoli stanja veze) te pripadajuće prednosti i nedostatke.

Četvrto poglavlje pod nazivom Značajke protokola za dinamičko usmjeravanje prometa detaljnije opisuje način rada i algoritme koje koriste protokoli vektora udaljenosti i protokoli stanja veze.

U petom se poglavlju, Analiza mreže u slučaju implementacije različitih protokola dinamičkog usmjeravanja, vrši komparativna analiza tehničkih karakteristika ranije spomenutih protokola.

U šestom poglavlju pod nazivom Komparacija protokola, analizirajući dobivene rezultate uspoređuju se prednosti i nedostaci navedenih protokola na temelju analize rezultata.

## 2. Usmjeravanje u paketskim mrežama

Usmjeravanje ili rutiranje se općenito opisuje kao proces određivanja puta u telekomunikacijskoj mreži koji je potreban kako bi podatkovna jedinica generirana na izvoru uspješno stigla od izvora do željenog odredišta. Informacije o dostupnim putevima nalaze se u tablicama usmjeravanja u kojima se za željeno odredište pridružuje jedno ili više izlaznih sučelja.

Tablice usmjeravanja mogu biti kreirane ručno (statički) ili korištenjem protokola usmjeravanja, tj. dinamički. Ovo poglavlje služi kao uvod u proces usmjeravanja u paketskim mrežama, opisan je koncept prijenosa podataka komutacijom paketa i njene prednosti nad komutacijom kanala, dok su u trećem poglavlju detaljnije opisane prednosti i nedostaci implementacije statičkog i dinamičkog tipa usmjeravanja u računalnim mrežama.

### 2.1. Paketske mreže

Koncept komutacije paketa na kojem se baziraju današnje moderne telekomunikacijske mreže dizajniran je kako bi se uspješno nadvladali nedostaci karakteristični za PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*) mreže s komutacijom kanala. U mrežama s komutacijom kanala resurs se dodjeljuje pojedinom pozivu, što bi značilo da se između korisnika koji pokušavaju ostvariti komunikaciju uspostavlja konekcija koja je aktivna cijelo vrijeme trajanja poziva.

Svakoj konekciji pridijeljena je konstantna brzina prijenosa, tj. uspostavljeni pojasni put je fiksne pojasne širine. Čak i kada korisniku nije potrebna pojasna širina ona je za njegovu vezu rezervirana. Osnovne prednosti ovakvog pristupa prijenosu i komutiranju informacija su malo kašnjenje i garancija kvalitete usluge. Nedostaci su nedovoljno iskorištenje spojnih vodova i konstantna pojasna širina rezervirana za jednu konekciju [1].

Sve nedostatke mreža s komutacijom kanala pokušalo se riješiti tehnikom komutacije paketa. Značajka takvog pristupa komutiranju je prijenos korisničkih podataka kratkim paketima. Izvorišna poruka se na ulazu u mrežu dijeli u blokove odgovarajućeg formata. Svakom bloku dodaje se upravljačka informacija. Tako formirani blokovi nazivaju se paketi.

Svaki paket se sastoji od upravljačkog dijela (eng. *Control Part*) i korisničkog dijela (eng. *User Part*). Upravljački dio sadrži skup kontrolnih informacija koje su potrebne ruterima kako bi bili sposobni usmjeriti paket kroz mrežu i isporučiti ga željenom odredištu. Prijenos podataka odvija se razdvajanjem podataka u segmente kojima se dodaje zaglavlje ispunjeno podacima potrebnim za njihov put od izvora do odredišta.

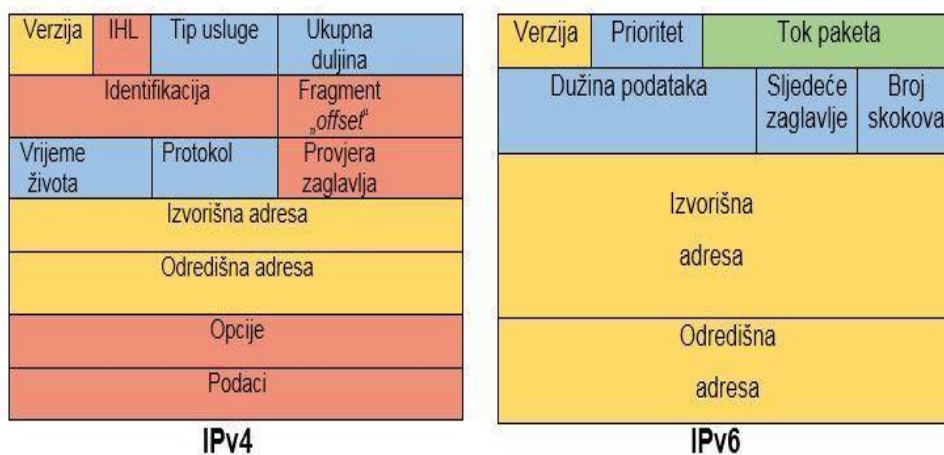
### 2.1.1. Internet

Internet se definira kao javno dostupna podatkovna mreža koja se bazira na komutaciji paketa korištenjem TCP/IP (eng. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) protokolarnog složaja. Sastoji se od skupa međusobno povezanih mreža koje su povezane elementima za prospajanje i usmjeravanje informacijsko-komunikacijskog prometa, a navedeni elementi su međusobno povezani fizičkim linkovima. Osim spomenute fizičke povezanosti mrežnih elemenata, potrebno je obratiti pozornost na logičku i aplikacijsku povezanost.

Logičku povezanost čine protokoli kao skup pravila kojima se određuje kako uređaji na mreži komuniciraju. Aplikacijska povezanost se odnosi na same aplikacije i programe koji predstavljaju podatke na mreži u obliku razumljivom korisniku. Zadatak fizičkih linkova je omogućiti podacima upakiranim u pakete različitih veličina da budu preneseni između mrežnih čvorova. Paketi se prenose linkovima fiksnom brzinom koja se naziva brzina linka ili kapacitet<sup>1</sup>. Kada je odlazni link iz nekog čvora mreže u potpunosti iskorišten, on će prenositi pakete najbrže što može, ovisno o implementiranim mehanizmima raspoređivanja kapaciteta odlaznog linka [2].

### 2.1.2. IP paketi

Slika 1 prikazuje strukturu zaglavlja paketa za protokole IPv4 (eng. *Internet Protocol version 4*) i IPv6 (eng. *Internet Protocol version 6*) koji se koriste u TCP/IP mrežama za prijenos podataka.



**Slika 1:** Usporedba zaglavlja IPv4 i IPv6 verzije protokola  
Izvor: [3]

<sup>1</sup> **Kapacitet linka** predstavlja fizičko ograničenje između dva čvora koje povezuje i odnosi se na kašnjenje u prijenosu podataka [4].

Uvođenjem IPv6 protokola, pojednostavljeno je zaglavlje i uvedena su nova polja koja imaju ulogu ispraviti pojedine nedostatke IPv4 zaglavlja. Polja koja su prisutna kod oba protokola, prikazana su žutom bojom. Crvena polja sadrži samo IPv4 i nisu uvedena kod IPv6. Plava polja su promijenila poziciju i naziv, a funkcija (novog) zelenog polja u IPv6 je određivanje toka paketa.

Polje pod nazivom „Tip usluge“ kod IPv6 protokola nazvano je „Prioritet“. Polje „Ukupna duljina“ kod IPv6 se naziva „Dužina podataka“, ali funkcionalnosti i karakteristike ostale su iste. Polje „Vrijeme života“ kod IPv6 se zove „Broj skokova“, a polje „Protokol“ kod IPv6 naziva se „Sljedeće zaglavlje“ i imaju u potpunosti istu funkciju

IP (eng. *Internet Protocol*) pripada mrežnom sloju OSI (eng. *Open System Interconnection*) referentnog modela i temeljni je mehanizam za povezivanje i konekciju između izvorišnih i odredišnih uređaja. OSI model jednoznačno se definira kao konceptualni model koji sistematizira unutarnje funkcije komunikacijskog sustava podjelom na zasebne slojeve. Općenito se može reći da su temeljne funkcije IP protokola (uz uspostavu podatkovne komunikacije) definiranje adresne sheme, definiranje samog IP paketa, prosljeđivanje podataka između razine pristupa mreži i prijenosne razine te fragmentacija<sup>2</sup> i sastavljanje paketa [5].

## 2.2. Funkcija usmjeravanja

Usmjeravanje (eng. *Routing*) ili rutiranje je proces određivanja jedne ili više mogućih ruta koje su upotrebljive da bi paket došao od izvorišta do odredišta. Informacije o dostupnim rutama nalaze se u tablicama usmjeravanja u kojima se zahtijevanom odredištu pridružuje jedno ili više izlaznih sučelja. Tablice usmjeravanja mogu biti kreirane ručno, tj. statički ili korištenjem dinamičkih protokola usmjeravanja. Usmjeravanjem se uspostavljaju tablice usmjeravanja pomoću protokola, algoritama i metrika. Da bi se izgradila tablica usmjeravanja može biti istovremeno korišten jedan ili više protokola usmjeravanja. Proces ispitivanja adresnih informacija u pristigлом paketu i slanje tog paketa na rutu koja je određena procesom usmjeravanja naziva se procesom prosljeđivanja.

Proces usmjeravanja započinje čitanjem podataka u zaglavlju paketa koji je stigao na ulazno sučelje (eng. *Port*) rutera. Prvo se ispituje odredišna adresa u zaglavlju, zatim se proučava tablica usmjeravanja i na temelju tih podataka odabire se izlazno sučelje na koje se šalje paket i određuje se adresa sljedećeg rutera na putu do odredišta. U tablici usmjeravanja se nalaze najbolje rute za svako mrežno odredište, a tablice se nalaze u radnoj memoriji rutera. Ovaj proces se naziva *address lookup*, nakon kojeg se vrši proces komutacije čime se paket

---

<sup>2</sup> **Fragmentacija** se definira kao dijeljenje velikih paketa na manje fragmente.

prebacuje na odgovarajući izlaz spreman za slanje. Paket je enkapsuliran<sup>3</sup> u okvir (eng. *Frame*) prije slanja i zatim se okvir prenosi na medij preko kojeg se šalje u obliku bitova [2]. Komunikacija pomoću rutera ne uspostavlja se ukoliko su izvorišna i odredišna adresa u istoj podmreži (eng. *Subnet*). U takvim situacijama veza se uspostavlja izravno. Dolazni linkovi spojeni su na ulazne memorije koje obavljaju privremeno pohranjivanje pristiglih paketa. Temeljem analize adresnih i upravljačkih podataka iz zaglavlja paketa, paketi se razvrstavaju u redove za prijenos putem odlaznih linkova.

### 2.3. Uloga rutera

Paketi ulaze u ruter u ulaznom sučelju gdje se analizira odredište svakog paketa kako bi se moglo utvrditi koje je odgovarajuće odlazno sučelje. Paketi se pohranjuju u međuspremnicima (eng. *Buffer*) sve dok nije donesena odluka o tome gdje je potrebno usmjeriti paket. U slučaju da je kapacitet međuspremnika u potpunosti iskorišten, paketi su odbačeni. Brzina kojom je ruter u mogućnosti prosljeđivati pakete prema odlaznom sučelju je ograničena i ovisi o brzini kojom može donositi odluke o usmjeravanju paketa, dok brzina kojom prosljeđuje pakete prema sljedećem čvoru ovisi o kapacitetu odlaznog linka.

Trenutna inačica IP-a, IPv4, nije značajnije izmijenjena od 1981. godine i izdavanja RFC (eng. *Request for Comments*) norme pod rednim brojem 791. Međutim, Internet protokol verzije 4 dizajniran je prije gotovo tri desetljeća u uvjetima koji su bili uvelike drukčiji od današnjih, od samog broja računala i ostalih uređaja koji su se potencijalno mogli spojiti na svjetsku računalnu mrežu, do kapaciteta prijenosnih medija koji su bili izuzetno spori i skloni greškama u prijenosu. Eksponencijalni rast globalne računalne mreže s godinama je kao posljedicu uzrokovao potrošnju cjelokupnog adresnog prostora IPv4 protokola. Na slici 2 prikazan je Cisco 1941 ISR (eng. *Integrated Services Router*) ruter koji je prikladan za potrebe manjih i srednje velikih tvrtki i organizacija.

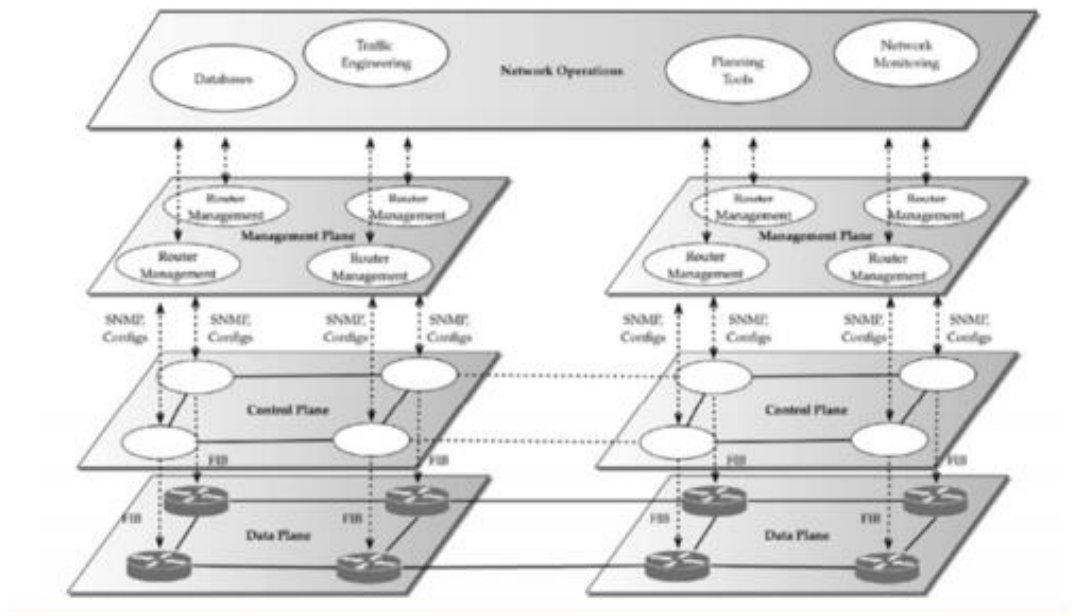


Slika 2: Cisco 1941 ISR ruter, [6]

<sup>3</sup> Enkapsulacija je postupak pakiranja podataka, od 7. sloja prema 1. sloju, u oblik pogodan za prijenos mrežom.

Ruter kao komutacijski čvor u paketskim mrežama obavlja iduće funkcije: pristupnu koncentraciju, tranzitno usmjeravanje paketa kroz mrežu prema željenom odredištu, kontrolu i korekciju pogrešaka, kontrolu prometnih tokova i zagušenja, klasifikaciju različitih vrsta prometnih tokova koji pristižu na ulazna sučelja i raspoređivanje kapaciteta odlaznih linkova [2]. Na slici 3 je prikazana arhitektura mrežnog upravljanja. Prema [7], održavanje i nadziranje rada mreže dijeli se u iduće tri razine:

- 1) Upravljačka razina: konfiguracija rutera, prikupljanje i obrada podataka o prometu, primjena SNMP-a<sup>4</sup> (eng. *Simple Network Management Protocol*).
- 2) Kontrolna razina: razmjena kontrolnih informacija između rutera za potrebe upravljanja raznim funkcijama kao što je uspostava virtualnog linka.
- 3) Podatkovna razina: prijenos podataka (*web, email*).



Slika 3: Arhitektura mrežnog upravljanja, [7]

### 2.3.1. Komponente rutera

Prema [8] i [9] ruteri sadrže iduće tipove memorije:

- 1) RAM (eng. *Random Access Memory*) memorija: pohranjuje tablice usmjeravanja ovisno o implementiranim protokolima usmjeravanja, sadržaj se gubi prekidom napajanja,

<sup>4</sup> **SNMP** (eng. *Simple Network Management Protocol*): protokol za nadzor i upravljanje mrežnim uređajima u IP mrežama, omogućuje mrežnim administratorima da upravljaju mrežnim performansama i planiraju potrebe za rastom mreže [10].

pohranjuje i redove čekanja za dolazne i izlazne pakete, ARP<sup>5</sup> (eng. *Address Resolution Protocol*) tablicu i konfiguracijske datoteke koje su trenutno aktivne (eng. *Running Configuration*).

- 2) ROM (eng. *Read-Only Memory*) memorija: sadrži POST (eng. *Power On Self Test*) dijagnostički program koji prilikom pokretanja provjerava prisutnost i ispravnost svih hardverskih komponenti. Osim POST-a, u ROM memoriji nalazi se i *bootstrap* program koji kontrolira proces pronalaska i učitavanja operativnog sustava u RAM memoriju.
- 3) FLASH memorija: pohranjuje operativni sustav rutera, ne gubi svoj sadržaj u slučaju gubitka napajanja.
- 4) NVRAM (eng. *Non-Volatile Random Access Memory*) memorija: koristi se za pohranu početne konfiguracije rutera (eng. *Startup Configuration*), zadržava sve podatke gubitkom napajanja.

### 2.3.2. QoS

Važna funkcija mrežne opreme u NGN<sup>6</sup> (eng. *Next Generation Network*) mrežama je osiguravanje kvalitete usluge ili QoS-a (eng. *Quality of Service*). Kvaliteta usluge definira se prema ITU-T E.800 preporuci kao efekt performansi usluge koji određuje razinu zadovoljstva korisnika pojedinom uslugom [11]. Svako sučelje može slati i primiti promet ograničenom brzinom. Ako je brzina kojom je promet usmjeren na sučelje veća od brzine kojom to sučelje može prosljeđivati promet dolazi do zagušenja. Ruteri tada privremeno pohranjuju promet u red čekanja dok se zagušenje ne smanji ili ga odbacuju. Kao rezultat toga aplikacije doživljavaju varijacije u kašnjenju ili gubitak prometa što umanjuje zadovoljstvo korisnika tom uslugom.

Kapacitet sučelja da proslijedi promet i raspoloživa memorija su osnovni resursi koji su potrebni kako bi se osigurao QoS za prometne tokove aplikacija. U uvjetima zagušenja ruter može pohraniti promet aplikacija koje su tolerantne na kašnjenje u red čekanja umjesto prometa aplikacija koje su više osjetljive na kašnjenje. Promet aplikacija koje su manje tolerantne na kašnjenje je prosljeđen prema sljedećem ruteru. Kapacitet sučelja je resurs koji je dodijeljen prometu netolerantnom na kašnjenje, a memorijski kapaciteti opreme su resurs koji je dodijeljen prometu tolerantnom na kašnjenje. U cilju preferencijalnog rasporeda resursa mrežnih elemenata potrebno je ispravno klasificirati različite tipove informacijsko-komunikacijskog prometa kojeg generiraju korisnici i povezati ih s potrebnim resursima [2].

---

<sup>5</sup> **ARP (eng. *Address Resolution Protocol*)** je komunikacijski protokol koji daje informaciju koja je fizička adresa (MAC) mrežnog uređaja povezana sa logičkom adresom (IP) mrežnog uređaja [12].

<sup>6</sup> **NGN (eng. *Next Generation Network*)**: mreža koja prenosi sve vrste usluge (govor, podaci, video) i pri tome ih enkapsulira u IP pakete.



### 3. Klasifikacija protokola usmjeravanja prema različitim kriterijima

Primarna funkcija mrežnog sloja je usmjeravanje paketa od izvorišta prema odredištu. U većini slučajeva, paketi moraju proći kroz više čvorova kako bi stigli do cilja. Algoritmi usmjeravanja biraju rute kojima će putovati paketi stoga je potrebno obratiti pozornost na podatkovnu strukturu koju pojedini protokol koristi za izračun ruta prilikom dizajna računalne mreže. Implementirani su u operativnom sustavu rutera koji odlučuje na koje odlazno sučelje prosljediti dolazeće pakete. Ako mreža interno koristi datagrame<sup>7</sup>, odluka o usmjeravanju donosi se posebno za svaki paket neovisno o ostalim paketima. Kod korištenja virtualnih kanala<sup>8</sup>, odluka o usmjeravanju donosi se samo jednom, prilikom uspostave kanala i svi paketi putuju unaprijed uspostavljenom rutom.

Neovisno o tome uspostavljaju li se rute posebno za svaki paket ili samo kada se uspostavljaju virtualni kanali, kod svakog algoritama za usmjeravanje podataka poželjne su karakteristike poput točnosti, robusnosti, stabilnosti i efikasnosti. Prilikom odlučivanja o implementaciji protokola za usmjeravanje, treba imati na umu da će na mreži, jednom kada se instalira i pusti u rad, dolaziti do raznih kvarova hardvera i/ili softvera i promjene topologije. Iz tog je razloga potrebno odabrati optimalan algoritam koji će biti u mogućnosti uspješno se nositi s navedenim poteškoćama. Algoritmi usmjeravanja općenito se mogu se podijeliti u dvije grupe: statički ili neadaptivni i dinamički ili adaptivni.

#### 3.1. Karakteristike protokola usmjeravanja

Prema [13], ovisno o primjeni za koju je algoritam usmjeravanja dizajniran, protokole je moguće usporediti sljedećim karakteristikama:

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

---

<sup>7</sup> **Datagram**: način prijenosa kod kojeg svaki paket putuje neovisno o prethodnom i svako čvorište u mreži odlučuje na koji način će usmjeriti svaki pojedini paket [4].

<sup>8</sup> **Virtualni kanal** je uspostava konekcijski-orijentiranog prijenosa uspostavlja između proizvoljnih točaka u računalnoj mreži, slično uspostavljanju telefonskog komutiranog kanala [4].

### 3.1.1. Optimalnost

Optimalnost se definira kao sposobnost rutera da odabere najbolju rutu u danom trenutku. Najbolja ruta ovisi o korištenoj metrici. Algoritam usmjeravanja može kombinirati i kvalitetu rute te ocjenjivati na temelju broja koraka i kašnjenja, ali primjerice na način da se u proračunu veća važnost pridaje kašnjenju. Zbog toga je potrebno precizno definirati procedure i formule za proračun metrike.

### 3.1.2. Jednostavnost

Algoritmi usmjeravanja moraju biti što jednostavniji stoga ih je potrebno implementirati na efikasan način i bez nepotrebnih funkcionalnosti. Efikasnost pojedinog algoritma bitna je u okolinama u kojima se dinamički protokoli usmjeravanja implementiraju na mrežama ograničenih računskih (snaga procesora) i memorijskih resursa (količina RAM memorije).

### 3.1.3. Robusnost i stabilnost

Algoritmi usmjeravanja trebaju biti robusni, odnosno trebaju ispravno funkcionirati i biti u mogućnosti prilagoditi se nepredviđenim okolnostima kao što su hardverski kvarovi i uvjeti visokog opterećenja. Idealnima za implementaciju smatraju se već unaprijed provjereni algoritmi usmjeravanja koji su svoju vrijednost dokazali kroz duži vremenski period u mrežama raznih veličina i u različitim uvjetima rada.

### 3.1.4. Konvergencija

Konvergencija je postupak u kojem se svi ruteri dogovaraju oko najbolje rute. Brza konvergencija je nužna karakteristika svakog algoritma usmjeravanja. Kada iz nekog razloga pojedini ruter postane nedostupan, ostali ruteri automatski razmjenjuju ažurirajuće poruke. Širenjem takvih poruka kroz mrežu dolazi do ponovnog proračuna ruta koje postupno ponovno konvergiraju u optimalan raspored. Algoritmi usmjeravanja s nedovoljno brzom konvergencijom uzrokuju stvaranje beskonačnih petlji i česte ispade mreže.

## 3.2. Statički algoritmi usmjeravanja

Za statičke algoritme usmjeravanja specifično je da se odabir rute ne bazira na temelju mjerenja određenih parametara mreže u realnom vremenu, već se rute računaju *offline*. Postavlja ih mrežni administrator<sup>9</sup> prije početka usmjeravanja, a tablice se mijenjaju samo prilikom intervencije administratora. Statički algoritmi usmjeravanja solidno funkcioniraju kod

---

<sup>9</sup> **Mrežni administrator (eng. Network Administrator)** je osoba zadužena za nadzor i održavanje informacijsko-komunikacijske infrastrukture neke tvrtke ili organizacije.

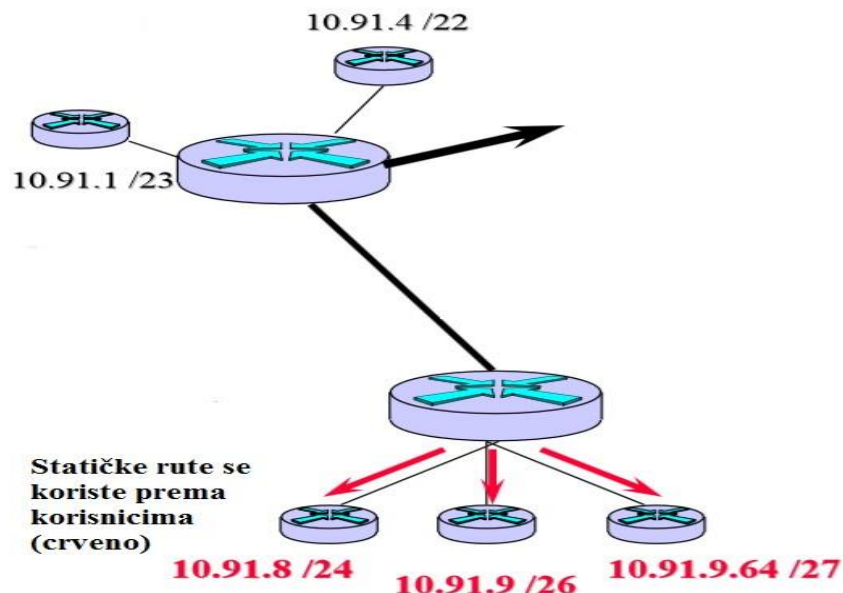
jednostavnih topologija i predvidljivog mrežnog prometa, ali nemaju mogućnost prilagodbe mrežnim promjenama zbog čega nisu primjenjivi u velikim mrežama [13]. Prije nego se identificiraju prednosti dinamičkog usmjeravanja, potrebno je razmotriti prednosti zbog kojih se statičke rute i dalje koriste. Često se primjenjuju u manjim mrežama koje ne zahtijevaju često održavanje. Ipak, najčešći je primjer korištenja kombinacija statičkih i dinamičkih algoritama usmjeravanja. Prema [14], statičko usmjeravanje ima nekoliko prednosti:

- jednostavnost konfiguriranja i održavanja tablice usmjeravanja u manjim mrežama za koje se ne očekuje da će značajno rasti
- usmjeravanje prema mreži koja ima samo jednu unaprijed definiranu rutu i nema informacije o udaljenim mrežama
- manje opterećenje procesora.

Nedostaci statičkih ruta su:

- kompleksnost konfiguracije se povećava kako mreža raste, nisu skalabilne, održavanje tablice usmjeravanja u velikim mrežama zahtijeva previše vremena
- nemogućnost preusmjeravanja prometa u slučaju kvara linka.

Kao što je prikazano na slici 4, jedna od opcija korištenja statičkih ruta je uspostava ruta između korisničkih rutera i rutera ISP-a<sup>10</sup> (eng. *Internet Service Provider*) koji zatim rute međusobno izmjenjuju dinamičkim algoritmima.



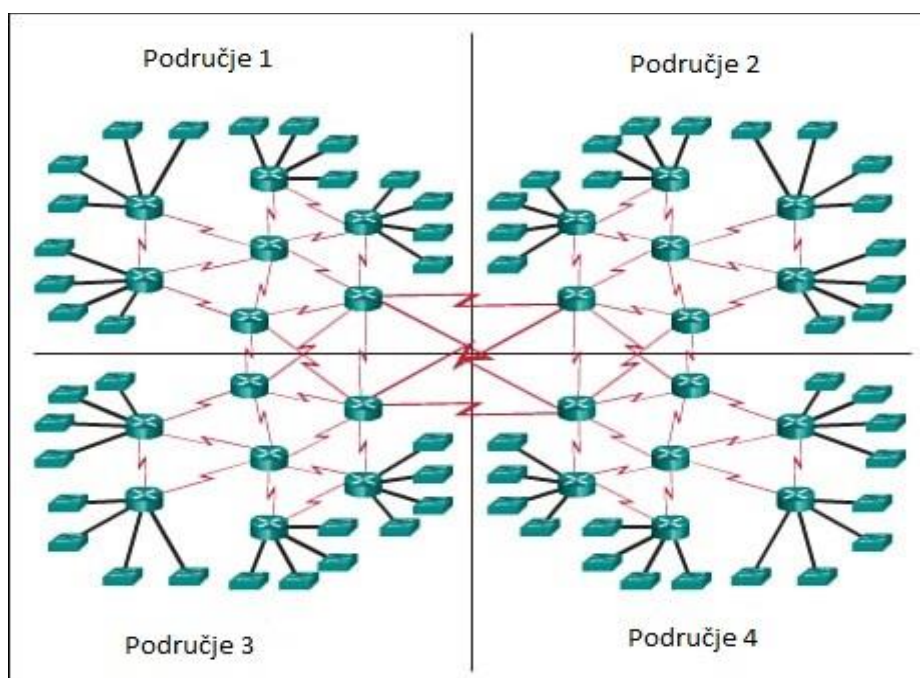
Slika 4: Primjer korištenja statičkog usmjeravanja, [15]

<sup>10</sup> ISP (eng. *Internet Service Provider*): tvrtka koja pruža pristup internetu privatnim i poslovnim korisnicima korištenjem resursa fiksne ili mobilne telekomunikacijske mreže.

### 3.3. Dinamički algoritmi usmjeravanja

Način rada dinamičkih ili adaptivnih algoritama usmjeravanja suprotan je statičkim algoritmima. Odluka o odabiru optimalne rute može varirati tijekom vremena kako dolazi do promjene topologije mreže. Razlikuju se prema načinu na koji prikupljaju informacije o promjenama (npr. lokalna obrada podataka, samo od susjednih rutera, od svih rutera), zatim prema načinu na koji vrše promjene tablice usmjeravanja (kod promjene topologije, kod većeg opterećenja u mreži) i prema metrici koja se koristi za odabir optimalne rute (broj skokova, kašnjenje, kapacitet linka).

Mogućnost međusobne razmjene i analize poruka ažuriranja dinamičkim algoritmima omogućuje skalabilnost i prilagodbu uvjetima na mreži u stvarnom vremenu [16]. Slika 5 najbolje prikazuje prednosti implementacije dinamičkih protokola usmjeravanja. Prikazana je računalna mreža neke kompanije koja je prisutna u četiri različita područja i sastoji se od ukupno 28 rutera. Dinamički protokoli osiguravaju redundantne<sup>11</sup> rute u slučaju kvara mrežnih čvorova ili linkova.



**Slika 5:** Primjer dinamičkog usmjeravanja

Izvor: [14]

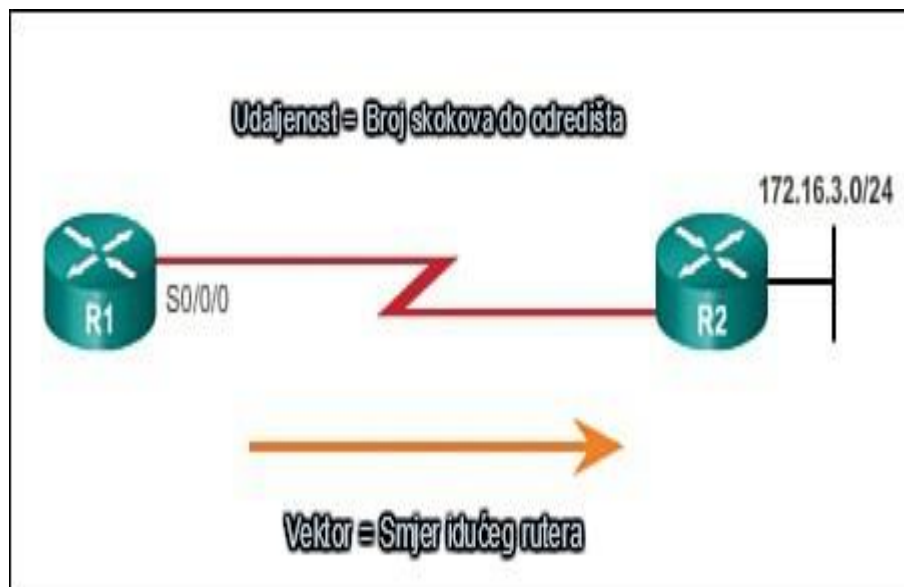
Dinamički algoritmi usmjeravanja često se nadopunjuju statičkim algoritmima u slučajevima kada ruter nakon obrade podataka nije u mogućnosti pronaći rutu za željeno odredište. Tada se paket prema idućem ruteru šalje unaprijed kreiranom statičkom rutom (eng. *Gateway of Last Resort*). Tablice usmjeravanja ažuriraju se koristeći posebno dizajnirane protokole za tu

<sup>11</sup> **Redundancija** ili zalihost se definira kao osiguravanje rezervnih elemenata za ispunjenje nekog zadatka.

namjenu. Najveće prednosti dinamičkih algoritama u odnosu na statičke su: puno manja vjerojatnost pogreške, jednostavnije održavanje mreže i automatsko preusmjeravanje prometa na drugu rutu prilikom neočekivanih promjena u mreži. Prikladni su za sve topologije i nisu ovisni o veličini mreže i broju rutera. Nedostaci su kompleksnost kod inicijalne implementacije u većim mrežama i zahtijevanje dodatnih resursa mrežnih elemenata (procesor, memorija, kapacitet linka) [13].

### 3.3.1. Protokoli vektora udaljenosti

Protokoli usmjeravanja čiji rad se temelji na vektoru udaljenosti (eng. *distance-vector*) su jedna od dvije vrste protokola dinamičkog usmjeravanja unutar jednog autonomnog sustava<sup>12</sup>. Svaki ruter održava vlastitu tablicu usmjeravanja u kojoj drži podatke o najkraćoj udaljenosti i izlaznom sučelju za svako odredište. Kao što je prikazano na slici 7, udaljenost se određuje na temelju metrike kao što je broj skokova (eng. *hop count*), a vektor specificira smjer idućeg rutera ili izlazno sučelje. Tablice se ažuriraju komunikacijom sa susjednim ruterima tako da svaki ruter cijelu svoju tablicu informacija dijeli sa susjednim ruterima. Poruka koja se šalje susjednom ruteru sadrži podatke o udaljenosti. Najpoznatiji predstavnik ove vrste protokola je RIP protokol koji će biti detaljnije opisan u idućem poglavlju.



Slika 6 : Značenje vektora udaljenosti

Izvor: [17]

Ruteri koji koriste protokole vektora udaljenosti ne znaju cijeli put do odredišne mreže i nemaju sliku o topologiji mreže. Jedine informacije koje imaju o udaljenim mrežama su udaljenost ili neka druga metrika i izlazno sučelje na koje trebaju proslijediti paket.

<sup>12</sup> **Autonomni sustav** predstavlja računalnu mrežu pod kontrolom jedne organizacije ili tvrtke.

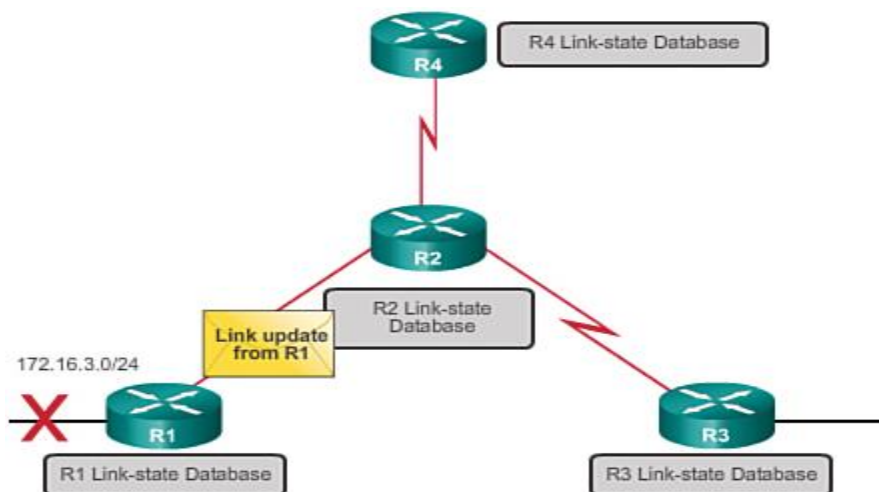
### 3.3.2. Protokoli stanja veze

Protokoli vektora udaljenosti korišteni su u ARPANET mreži<sup>13</sup> do 1979. godine kada su ih zamijenili protokoli stanja veze. Najveći nedostatak protokola vektora udaljenosti bilo je vrijeme konvergencije u slučaju promjene topologije. Glavni predstavnici protokola stanja veze OSPF i IS-IS (eng. *Intermediate System to Intermediate System*) danas su najčešće korišteni protokoli usmjeravanja unutar jednog autonomnog sustava u velikim računalnim mrežama i na Internetu.

Način funkcioniranja protokola stanja veze može biti opisan na sljedeći način:

- 1) otkrivanje susjednih rutera i njihovih IP adresa
- 2) utvrđivanje troška linka do svakog od susjednih rutera
- 3) kreiranje paketa koji sadrže informaciju o svim susjednim ruterima
- 4) slanje tog paketa svim ruterima na mreži i primanje odgovora
- 5) računanje najkraćeg puta do svih ostalih rutera [18].

Protokoli koji se temelje na stanju veze rade tako da svaki ruter zna topologiju mreže i ne šalje se cijela tablica usmjeravanja već se svim ruterima u mreži šalje samo informacija o stanju veze u obliku malih LSA (eng. *Link State Advertisement*) paketa. Na osnovu dobivenih informacija ruteri ponovo izračunaju puteve. Ova metoda je pouzdanija, troši manje pojase širine mreže i jednostavnije je otkloniti nastalu pogrešku. Negativna strana takvog pristupa usmjeravanju je korištenje kompleksnijeg algoritma što znači veće opterećenje procesora rutera i veća potrošnja memorije [2]. Na slici 7 je prikazan osnovni princip rada protokola stanja veze.



Slika 7: Funkcioniranje protokola stanja veze, [17]

<sup>13</sup> ARPANET (eng. *Advanced Research Projects Agency Network*) je računalna mreža dizajnirana 1969. godine za potrebe Ministarstva obrane SAD-a s ciljem ispitivanja novih mrežnih tehnologija i povezivanja sveučilišta i istraživačkih centara.

Algoritmi protokola stanja veze imaju bržu konvergenciju pa su prema tome i otporniji na petlje usmjeravanja. Njihovi nedostaci su veći zahtjevi za procesorskim i memorijskim resursima zbog čega je održavanje skuplje. Dodavanjem novih rutera povećava se učestalost slanja ažurirajućih poruka i produžuje se vrijeme proračuna ruta. Zbog toga se protokoli stanja veze uglavnom koriste na lokalnim mrežama, a protokoli vektora udaljenosti najčešće usmjeravaju promet među različitim autonomnim sustavima i između rutera davatelja internetskih usluga [15]. U ovakvom slučaju prikladan je BGP (eng. *Border Gateway Protocol*) protokol vektora udaljenosti, namijenjen upravo usmjeravanju među autonomnim sustavima i za razmjenu informacija među ISP poslužiteljima kao i između ISP poslužitelja i velikih organizacija. Protokoli stanja veze najbolje rade u situacijama kada je velika mreža hijerarhijski podijeljena i kada je važna brza konvergencija.

Algoritmi koji se koriste kod protokola stanja veze zahtijevaju da se za svaki link utvrdi trošak kao metrika kako bi mogli izračunati najkraći put. Vrijednost troška linkova koji vode prema susjednim ruterima može biti unaprijed postavljena od strane mrežnog administratora. Ako se radi o geografski dislociranim računalnim mrežama, u vrijednost troška uračunava se i kašnjenje koje se utvrđuje slanjem posebnog *echo* paketa ostalim ruterima. Nakon što se izračuna RTT (eng. *Round-Trip Time*)<sup>14</sup>, moguće je dobiti procjenu kašnjenja.

Kod protokola stanja veze svaki ruter zna topologiju cijele mreže i ruteri distribuiraju podatke o usmjeravanju tako da svaki šalje LSA pakete koji sadrže informacije o stanju veze i na temelju tih poruka svaki ruter ponovno računa svoje rute. Ruter najprije otkriva svoje susjede i njihove mrežne adrese, zatim mjeri kašnjenje do svakog susjeda, šalje paket sa svim podacima svim ostalim ruterima i izračunava najbolji put pomoću Dijkstrinog algoritma. Otkrivanje susjeda se postiže slanjem *hello* paketa, a susjedni ruteri odgovaraju na taj paket svojim IP adresama. Distribucija paketa odvija se preplavlivanjem<sup>15</sup> (eng. *flooding*), [14], [17].

---

<sup>14</sup> RTT (eng. *Round-Trip Time*) je vrijeme potrebno da poslani ICMP paket dođe do odredišta i da se vrati nazad na izvorište tzv. kružno kašnjenje paketa.

<sup>15</sup> Preplavlivanje (eng. *Flooding*) je jednostavni algoritam usmjeravanja kod kojeg se svaki dolazni paket šalje na svaki odlazni link.

## 4. Značajke protokola za dinamičko usmjeravanje prometa

### 4.1. RIP

RIP (eng. *Routing Information Protocol*) je najpoznatiji predstavnik protokola vektora udaljenosti. Koristi algoritam *Bellmann-Ford* za određivanje najkraćeg puta. Kao glavna metrika koristi se broj skokova. Broj skokova označava broj rutera koje paket treba proći na putu od izvora do odredišta. Maksimalan broj skokova koji je podržan je 15 pa stoga broj od 16 skokova znači da je ruta nedostupna. Zbog toga se RIP koristi samo u manjim mrežama u kojima nema više od 15 rutera između bilo koje dvije mreže.

#### 4.1.1. Način rada

RIP ruteri šalju svoje kompletne tablice usmjeravanja susjedima svakih 30 sekundi. Kada ruter dobije poruku u kojoj je vidljiva promjena, mijenja svoju tablicu usmjeravanja za tu rutu i uvećava vrijednost metrike za jedan te nakon nadogradnje svoje tablice ruter informira susjedne rutere o promjeni [1]. Kada ruter zabilježi prekid, u svojoj tablici usmjeravanja postavlja vrijednost metrike na 16.

Takva tablica usmjeravanja šalje se susjedinim ruterima. Svakih 30 sekundi RIP ruter šalje poruke ažuriranja, a u slučaju da 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. U tablici usmjeravanja su RIP unosi prikazani slovom R i imaju administrativnu udaljenost<sup>16</sup> 120 [19].

#### 4.1.2. RIPv1

RIPv1 je *classful* protokol usmjeravanja koji ne podržava VLSM<sup>17</sup> (engl. *Variable Length Subnet Mask*). Maska podmreže nije uključena u ažuriranje tablica usmjeravanja. Kada ruter primi RIPv1 ažuriranje, mora odrediti masku podmreže te rute. Ako ruta pripada istoj glavnoj *classful* mreži kao i ažuriranje, RIPv1 uzima masku podmreže primajućeg sučelja. Ako ruta pripada drugoj glavnoj *classful* mreži, RIPv1 primjenjuje zadanu *classful* masku.

Na slici 8 prikazan je format RIPv1 paketa koji sadrži devet polja. Polje za naredbu (eng. *Command Field*) je zahtjev da ruter pošalje tablicu usmjeravanja. Polje verzije (eng. *Version*

---

<sup>16</sup> **Administrativna udaljenost** (eng. *Administrative distance*) je pojam koji se koristi za opis pouzdanosti određenog protokola usmjeravanja.

<sup>17</sup> **VLSM** (eng. *Variable length subnet mask*): mrežna maska varijabilne dužine; način upravljanja mrežnim IP adresama koji dozvoljava mrežne maske proizvoljne dužine.



*Number Field*) definira verziju RIP protokola. Nulto polje (eng. *Zero Field*) je dodano je zbog kompatibilnosti s prijašnjim verzijama RIP protokola. AFI polje (eng. *Address-family Identifier*) odnosi se na vrstu adrese. Polje IP adrese (eng. *IP address Field*) predstavlja adresu za ulaz. Polje metrike (eng. *Metric Field*) označava ukupan broj rutera koje paket treba proći od izvora do odredišta.

1-octet command field	1-octet version number field	2-octet zero field	2-octet AFI field	2-octet zero field	4-octet IP address field	4-octet zero field	4-octet zero field	4-octet metric field
-----------------------------	---------------------------------------	--------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------------

**Slika 8:** Format RIPv1 paketa, [20]

#### 4.1.3. RIPv2

RIPv2 je *classless* protokol vektora udaljenosti i u ažuriranjima zajedno s adresama mreža uključuje masku podmreže. Kod RIPv1, nesusjedne mreže nisu podržane zbog automatskog sumiranja na granicama mreže. Slika 9 prikazuje format RIPv2 paketa.

1-octet command field	1-octet version number field	2-octet unused field	2-octet AFI field	2-octet route tag field	4-octet network address field	4-octet subnet mask field	4-octet next hop field	4-octet metric field
-----------------------------	---------------------------------------	----------------------------	-------------------------	----------------------------------	----------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	----------------------------

**Slika 9:** Format RIPv2 paketa, [20]

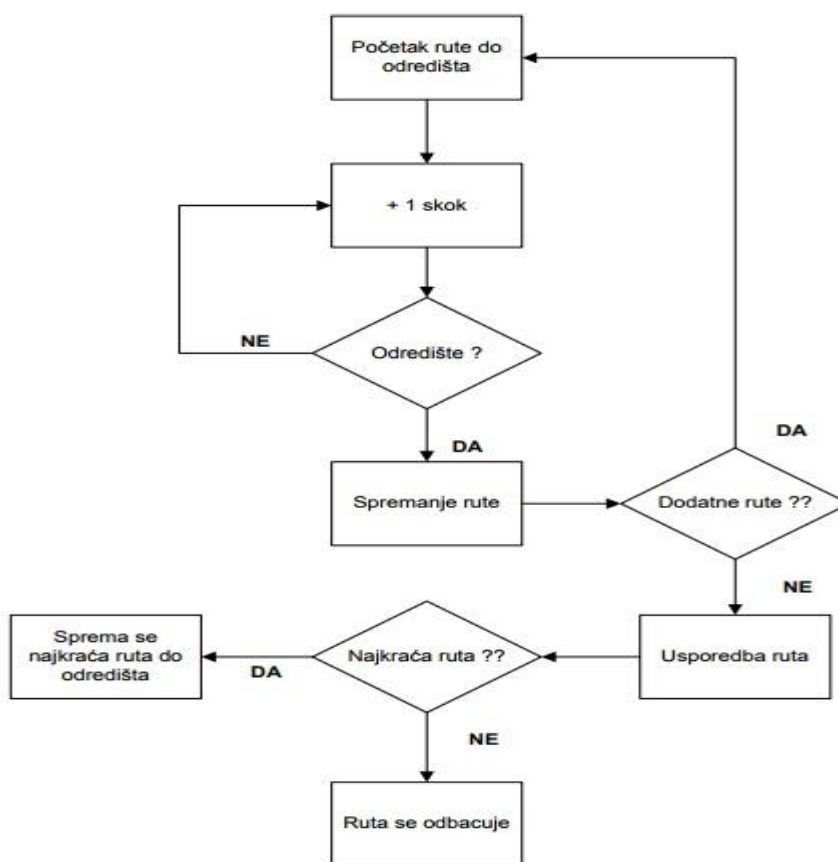
Polje za oznaku rute (eng. *Route Tag Field*) predstavlja internu oznaku rute u mreži. Polje mrežne adrese (eng. *Network Address Field*) i polje maske podmreže odnose se na mrežnu adresu i masku podmreže, a polje sljedećeg skoka (eng. *Next Hop Field*) označava IP adresu idućeg rutera kojemu se paket prosljeđuje. Ruter koji prima ažuriranje od više ostalih rutera koji oglašavaju istu *classful* sumiranu rutu ne može otkriti koje podmreže pripadaju kojoj sumiranoj ruti stoga dolazi do pogrešnog usmjeravanja paketa [15]. Nadalje, RIPv1 nije siguran protokol. Svaki *host*<sup>18</sup> koji šalje pakete s UDP<sup>19</sup> (eng. *User Datagram Protocol*) porta 520 smatra ruterom. RIPv2 stoga iz sigurnosnih razloga uključuje autentifikacijsku proceduru koja koristi MD5 (eng. *Message Digest 5*) algoritam [20].

<sup>18</sup> **Host:** svaki uređaj koji je spojen na mrežu, ima dodijeljenu IP adresu i mogućnost komunikacije.

<sup>19</sup> **UDP (eng. User Datagram Protocol):** nekonekcijski orijentiran protokol korisničkih datagrama koji radi na transportnom sloju.

#### 4.1.4. Algoritam Bellman-Ford

Algoritam Bellman-Ford pronalazi najkraće putove od početne točke s ograničenjem na jedan link, zatim na dva linka i tako dalje. Sporiji je od Dijkstrinog algoritma za isti problem, ali je mnogo fleksibilniji i podržava računanje s negativnim brojevima. Preduvjet za izračun najkraćeg puta je nepostojanje negativnog ciklusa dostupnog izvorišnom čvoru. Podržava izmjenu informacija o topologiji mreže sa susjednim ruterima, a svaki takav podatak sadrži kombinaciju prethodno izračunatog puta za slanje paketa do svakog odredišta u mreži i udaljenosti ili vremena koje je potrebno za slanje na tom putu [21]. Na slici 10 je prikazan dijagram toka kojim je pojašnjen načina rada ovog algoritma.



Slika 10: Dijagram toka Bellman-Ford algoritma, [19]

Do procesa razmjene informacija između rutera dolazi čak i ako se ne događaju nikakve promjene u topologiji mreže. Svaki ruter računa udaljenost između sebe i svih ostalih čvorova unutar autonomnog sustava i dobivene rezultate pohranjuje u svoju tablicu. Zatim se takva novonastala tablica šalje svim susjednim ruterima [19].

## 4.2. EIGRP

EIGRP (eng. *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*) je napredna inačica IGRP protokola usmjeravanja tvrtke Cisco. EIGRP je zamijenio IGRP (eng. *Interior Gateway Routing Protocol*) 1993. godine koji nije podržavao IPv4 adresni format. Može se smatrati hibridnim dinamičkim protokolom zato što pokazuje karakteristike protokola vektora udaljenosti i protokola stanja veze. Dizajniran je s ciljem da minimizira nestabilnost usmjeravanja uslijed promjena topologije kao i ukupnu potrošnju komunikacijskih i procesorskih resursa [7].

### 4.2.1. Način rada

Temelji se na DUAL (eng. *Diffusing Update Algorithm*) algoritmu razvijenom od strane SRI (eng. *Stanford Research Institute*) instituta. U većim mrežama, pokazuje odlična svojstva s obzirom na skalabilnost i konvergenciju uz minimalne iznose generiranog prometa [22]. Protokol koji se koristi na transportnom sloju za dostavu EIGRP paketa je RTP (eng. *Reliable Transport Protocol*). Koristi pouzdanu isporuku EIGRP ažuriranja, upite i odgovore te nepouzdanu isporuku za EIGRP pozdrave i potvrde (eng. *Hello and Acknowledgments*).

Prije nego se ažuriranje pošalje, otkrivaju se susjedni ruteri *hello* paketima. Na većini mreža *hello* paketi se šalju svakih 5 sekundi. EIGRP ne šalje periodička ažuriranja poput RIP-a nego šalje samo djelomična ažuriranja koja uključuju promjene ruta isključivo onim ruterima u mreži kojima je ta informacija zaista potrebna. Kod izračuna najboljeg puta koristi se složena metrika sastavljena od propusnosti, kašnjenja, pouzdanosti i opterećenja [19].

Prema [23] EIGRP koristi 5 različitih tipova paketa:

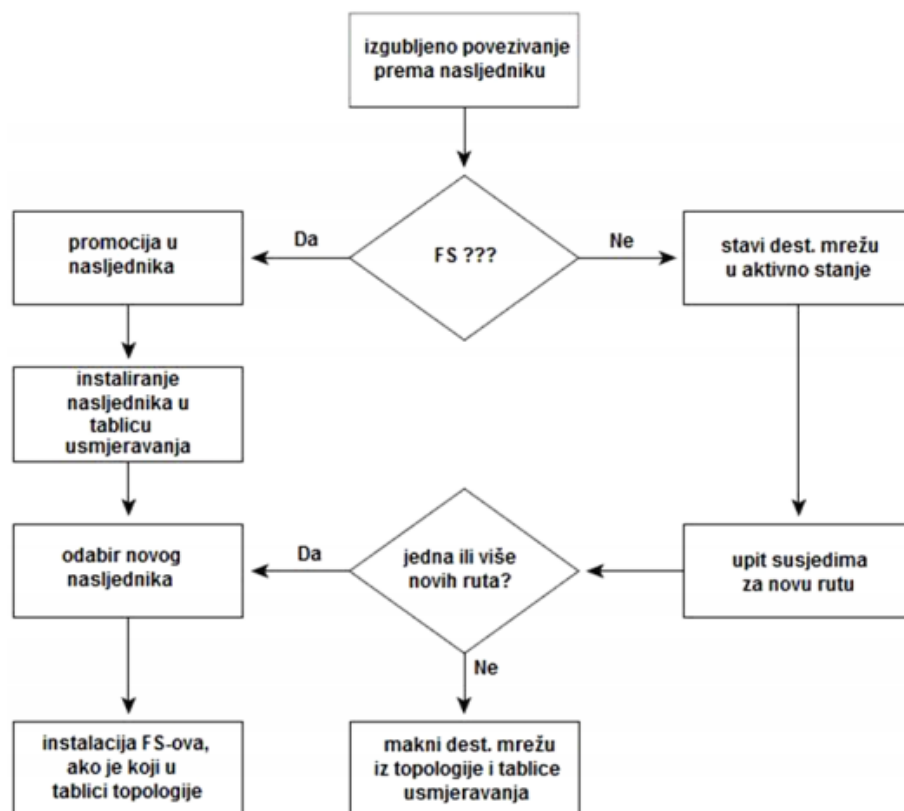
- *Hello* paketi - koriste se za uspostavu konekcija sa susjednim uređajima (*multicast*)
- *Update* paketi - koriste se kod promjena u mreži, šalju se novim susjednim ruterima kao *unicast*, kada dođe do promjene metrike određene rute paket se šalje kao *multicast* prema adresi 224.0.0.10
- *Acknowledgement* paketi - potvrda *Update* paketa (*unicast*)
- *Query* paketi - pronalazi alternativne rute u slučaju da prethodne rute nisu dostupne, *multicast* prema adresi 224.0.0.10
- *Replay* paketi - *unicast* odgovor prema ruteru koji šalje *Query* paket.

### 4.2.2. DUAL algoritam

EIGRP koristi DUAL (engl. *Diffusing Update Algorithm*) algoritam za izračun najboljih ruta. Kako bi se odredio najbolji put i potencijalni alternativni putevi, koristi se DUAL FSM (eng. *Finite*

*State Machine*). Nasljednik je susjedni ruter koji se koristi za prosljeđivanje paketa koristeći rutu s najmanjom cijenom do odredišne mreže. Izvodljiva udaljenost (eng. *Feasible Distance*, FD) je najmanja izračunata metrika za dohvaćanje odredišne mreže preko nasljednika.

Izvodljivi nasljednik (eng. *Feasible Successor*, FS) je susjedni ruter koji do iste mreže kao i nasljednik ima rezervni put bez petlji, a također zadovoljava i uvjete izvodljivosti (eng. *Feasible Condition*, FC). FC je zadan kada je susjedova izviještena udaljenost (eng. *Reported Distance*, RD) do mreže manja od FD-a do iste odredišne mreže. RD je susjedov FD do odredišne mreže [19]. Slika 11 pojašnjuje način rada algoritma DUAL.



**Slika 11:** Dijagram toka algoritma DUAL, [19]

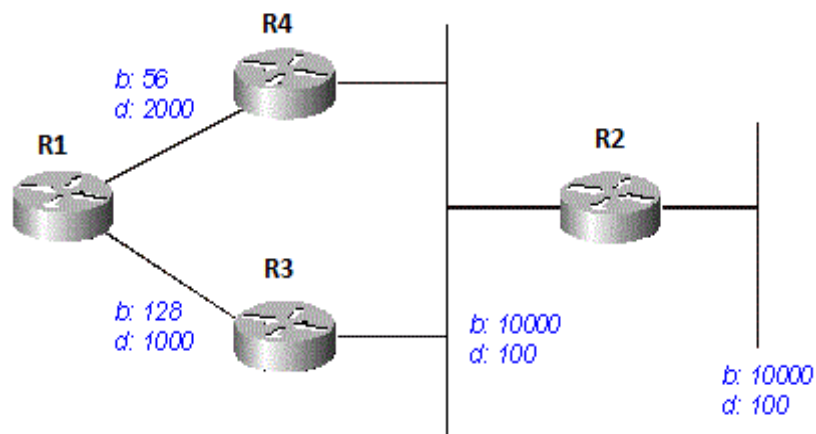
Osim tablice usmjeravanja, EIGRP koristi još dvije tablice za pohranu sljedećih informacija:

- Tablica susjeda: sadrži IP adrese rutera s kojima je uspostavljena direktna fizička konekcija, ruteri s kojima je veza uspostavljena indirektno, tj. preko drugih rutera, ne nalaze se u ovoj tablici
- Tablica topologije: pohranjuje sve rute koje je ruter saznao od susjednih rutera. Za razliku od tablice usmjeravanja, ne pohranjuje sve rute nego samo rute koje su

otkrivene od strane EIGRP protokola. Ova tablica također prikazuje iznos troška za sve pohranjene rute. Rute su označene kao pasivne ili aktivne. Pasivne rute naznačuju da je EIGRP završio obradu podataka i računanje. Aktivne rute ukazuju na to da EIGRP i dalje računa najbolji put za određenu rutu [24].

#### 4.2.3. Izračun najkraćeg puta

Za mrežu prikazanu na slici 12 prikazat će se postupak računanja najkraćeg puta od Rutera 1 do Rutera 2. Dvije su moguće rute, preko Rutera 4 do kojeg vodi link koji raspolaže pojasmom širinom (eng. *bandwidth*) od 56 i ukupnim kašnjenjem koje iznosi 2000 i preko Rutera 3 s pojasmom širinom od 128 i kašnjenjem od 1000.



**Slika 12:** Računanje najkraćeg puta EIGRP protokolom  
Izvor: [21]

EIGRP računa ukupnu metriku uzimajući u obzir pojasmu širinu i kašnjenje prema formuli:

$$bandwidth = \left( \frac{10000000}{bandwidth(i)} \right) * 256 \quad (1)$$

gdje je  $bandwidth(i)$  link s najmanjom pojasmom širinom od svih linkova na koje su spojena odlazna sučelja na ruti od izvora prema odredištu prikazan u kilobitima.

Sljedeća formula se koristi kako bi se izračunalo kašnjenje:

$$delay = delay(i) \cdot 256 \quad (2)$$

gdje je  $delay(i)$  zbroj svih kašnjenja konfiguriranih na sučelju, na ruti prema odredištu, u desecima mikrosekundi.

EIGRP koristi iduću formulu kako bi odredio ukupnu metriku:

$$metric = \left( \left[ K1 * B + \frac{K2 * B}{(256 - L)} + K3 * D \right] * \left[ \frac{K5}{(R + K4)} \right] \right) * 256 \quad (3)$$

gdje  $B$  i  $D$  označuju pojasnu širinu i kašnjenje kao što je već prethodno spomenuto,  $L$  (eng. *Load*) je opterećenje linka, a  $R$  (eng. *Reliability*) se odnosi na pouzdanost.

U slučaju da je  $K5 = 0$ , formula se računa na sljedeći način:

$$metric = \left( \left[ K1 * B + \frac{K2 * B}{(256 - L)} + K3 * D \right] \right) * 256 \quad (4)$$

Unaprijed definirane vrijednosti za  $K$  su:  $K1 = 1$ ,  $K2 = 0$ ,  $K3 = 1$ ,  $K4 = 0$  i  $K5 = 0$ . Formula se stoga može pojednostaviti kako slijedi:  $M(metric) = B(bandwidth) + D(delay)$ . Stoga će Ruter 1 odabrati Ruter 3 kao idući skok kako bi poruka generirana na izvoru najbržim putem stigla do odredišta, tj. do Rutera 2. EIGRP u prikazanom primjeru koristi pojasnu širinu linka i ukupno kašnjenje kako bi izračunao najbolju rutu do odredišta. Iako se mogu koristiti i ostale metrike, ne preporučuju se zbog mogućih petlji u mreži. Iznosi pojasne širine i kašnjenja korišteni u primjeru određeni su iz unaprijed konfiguriranih vrijednosti na mrežnim sučeljima na putu prema odredištu [21].

### 4.3. OSPF

OSPF (eng. *Open Shortest Path First*) je hijerarhijski protokol stanja veze čije su specifikacije javne i mogu ga koristiti svi proizvođači mrežne opreme stoga je najčešći protokol kod velikih računalnih mreža koje koriste opremu različitih proizvođača upravo OSPF. Razvijen je za IP mreže tijekom istraživanja radne skupine znanstvenika IETF-a<sup>20</sup> (eng. *Internet Engineering Task Force*). Radna skupina je formirana 1988. godine u svrhu dizajniranja protokola baziranog

---

<sup>20</sup> IETF (eng. *Internet Engineering Task Force*): organizacija koja specificira službene standarde TCP/IP mreža.

na SPF (eng. *Shortest Path First*) algoritmu. Za obradu i izračun optimalne rute od izvora do željenog odredišta u mreži koristi se Dijkstrin SPF algoritam zajedno uz MD5 algoritam za provjeru autentičnosti rutera.

#### 4.3.1. Način rada

OSPF je namijenjen radu unutar jedne usmjerivačke domene, odnosno jednog autonomnog sustava. Koristi se na IPv4 i na IPv6 mrežama i podržava mrežne maske varijabilne duljine kao i neklasificirano usmjeravanje između usmjerivačkih domena. Kod promjena mrežne topologije susjednim ruterima se ne šalje cijela topologija mreže nego samo informacija o promjenama. Cijena (eng. *Cost*) se unaprijed definira na svakom sučelju rutera koje je povezano s drugim ruterom, a između više mogućih ruta kroz mrežu OSPF će odabrati onu rutu koja ima najmanji zbroj ukupnih cijena na putu od izvora do odredišta.

S ciljem smanjenja količine prometa na mreži koju OSPF generira kod svake promjene u topologiji mreže, poželjno je podijeliti računalnu mrežu neke organizacije na manje logičke cjeline, nazvane OSPF područja (eng. *OSPF Area*). Područje 0 predstavlja jezgru mreže (eng. *Backbone Area*), a drugim se područjima uobičajeno dodjeljuju brođane oznake po želji mrežnog administratora ili nasumično. Svako područje mora biti povezano direktno s jezgrenim područjem pomoću graničnog rutera. Granični ruter ima minimalno dva ili više sučelja od kojih svako pripada nekom drugom području [25].

#### 4.3.2. OSPF usmjeravanje

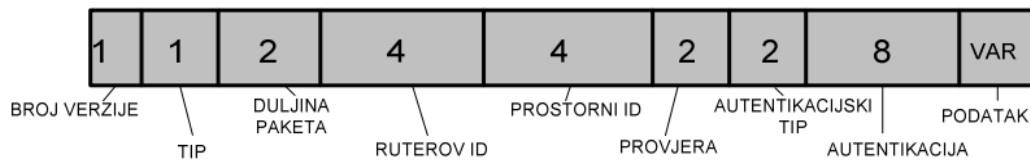
Za razliku od RIP-a, OSPF može raditi hijerarhijski, a najveća jedinica bez hijerarhije je AS (eng. *Autonomous System*) ili autonomni sustav. Autonomni sustavi mogu biti podijeljeni u više područja kao skupine graničnih mreža i glavnih računala (*host-ova*). Ruteri s više sučelja sudjeluju u više područja. Ruteri zaduženi za granična područja u memoriji pohranjuju zasebne topološke baze podataka za svako područje. Topološka baza podataka sadrži skupinu LSA-ova svih rutera koji se nalaze u istom području. Ruteri unutar istog područja dijele iste informacije pa stoga sadrže jednake topološke baze podataka. OSPF razdvaja topologije područja stoga generira mnogo manje prometa i troši manje resursa nego u slučaju da autonomni sustavi nisu razdvojeni, [26], [27].

#### 4.3.3. OSPF paketi

Postoji nekoliko tipova OSPF paketa, [28]:

- *Hello* paketi služe za uspostavljanje i održavanje veza sa susjednim OSPF ruterima
- *Database Description* - sadrži listu zapisa koji se provjeravaju s glavnom bazom

- LSR (eng. *Link State Request*) - prijemni ruteri koriste ovaj paket za izvršavanje upita nad bazom
- LSU (eng. *Link State Update*) - koristi se kao odgovor na LSR i ažuriranje novim informacijama
- LSA (eng. *Link State Acknowledgement*) - potvrda da je LSU paket primljen.



**Slika 13:** Format OSPF paketa, [27]

Kao što je prikazano na slici 13, OSPF paket se sastoji od devet dijelova (pri čemu broj naveden u polju označuje duljinu polja u *byte*-ima):

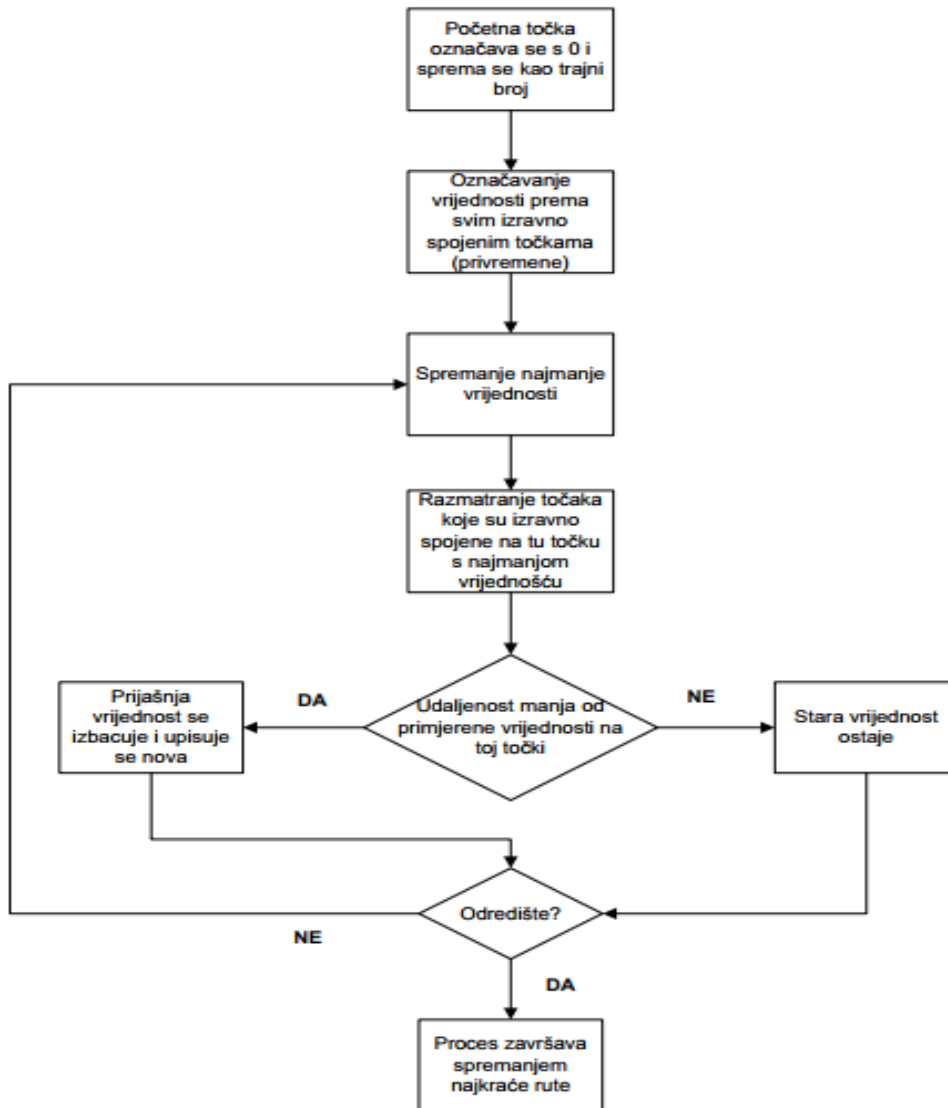
- broj verzije - označava OSPF verziju
- tip - označava tip podataka OSPF paketa kao jedno od sljedećeg:
  - 1) *Hello* - utvrđuje susjedne veze
  - 2) Opis baze podataka - opisuje sadržaj topološke baze podataka
  - 3) *Link State* zahtjev - zahtjeva dijelove topološke baze podataka od susjednih rutera
  - 4) *Link State* dopuna - odgovara na paket link-state zahtjeva o
  - 5) *Link State* potvrda - potvrđuje link-state dopunjene pakete
- duljina paketa - specificira duljinu paketa uključujući i OSPF zaglavlje
- ID rutera - određuje izvor paketa
- prostorni ID - određuje ID područja kojem pripada paket
- provjera (eng. *Checksum*) - provjerava cijeli sadržaj paketa
- autentikacijski tip
- autentikacija - sadrži informacije o provjeri valjanosti
- podatak - sadrži zatvorenu informaciju gornjeg sloja.

#### 4.3.4. SPF algoritam

SPF algoritam je osnova OSPF protokola. Kada se pokrene ruter na kojem je OSPF konfiguriran, inicijaliziraju se strukture podataka i čeka se signal protokola nižih razina da su pripadajuća sučelja ispravna i funkcionalna. Nakon toga, šalju se *hello* paketi susjednim uređajima.



Topološke baze podataka su sinkronizirane između parova graničnih rutera. Svaki ruter periodički šalje LSA kako bi informirao druge kada se stanje nekog od rutera u mreži promijenilo [27]. Na slici 14 prikazan je dijagram toka koji pojašnjuje funkcioniranje SPF algoritma.



Slika 14: Dijagram toka SPF algoritma, [19]

## 5. Analiza mreže u slučaju implementacije različitih protokola dinamičkog usmjeravanja

U paketskim mrežama, funkcija usmjeravanja je prosljeđivanje informacijsko-komunikacijskog prometa, tj. logički adresiranih paketa koji su generirani na izvoru preko posredničkih čvorova sve do željenog odredišta. Svaki čvor u mreži stoga treba moći donijeti najbolju odluku u danom trenutku o usmjeravanju prometa koji pristiže na ulazna sučelja.

Protokoli usmjeravanja oslanjaju se na određeni algoritam koji uzima u obzir različite metrike (pojasna širina, MTU<sup>21</sup>, kašnjenje, broj skokova, pouzdanost) s ciljem pronalaska najbolje rute do svakog odredišta. Kako bi ruteri mogli uspješno usmjeravati promet, odluka o implementaciji protokola usmjeravanja postaje faktor koji će odlučiti uspješnost dizajnirane računalne mreže tijekom vremena [16].

Faktori koji razlikuju jedan protokol usmjeravanja od drugog uključuju brzinu kojom se protokol adaptira na promjenu topologije, mogućnost odabira najbolje rute između više mogućih ruta i količinu prometa koji protokol generira. Osim navedenog, važnu ulogu igra i opterećenje procesora koje zahtijeva određeni protokol te lakoća konfiguracije, administracije i održavanja mreže. Cilj ovog poglavlja je stoga analiziranje karakteristika računalne mreže u slučaju implementacije protokola vektora udaljenosti i protokola stanja veze.

Napravljena je usporedba RIP, EIGRP i OSPF dinamičkih protokola u Riverbed Modeler simulacijskom softveru s obzirom na aktivnosti mrežne konvergencije, opterećenje CPU-a<sup>22</sup> (eng. *Central Processing Unit*), zauzeće kapaciteta mreže, propusnost i kašnjenje. Navedeni protokoli najčešće su korišteni protokoli u računalnim mrežama velikih tvrtki i organizacija.

### 5.1. Korištena mrežna topologija

Riverbed Modeler, softver koji je korišten za usporedbu performansi i značajki protokola, inače je poznatiji pod nazivom OPNET Modeler. Naziv programskog alata promijenjen je 2012. godine nakon što ga je preuzela IT tvrtka „*Riverbed Technology*“. Omogućuje simulaciju i ispitivanje ponašanja heterogenih telekomunikacijskih mreža uz implementaciju niza različitih protokola OSI modela. Iznimno je koristan za analizu i usporedbu mreža različitih tehnologija i dizajna što je veoma bitno u konceptualnoj fazi projektiranja telekomunikacijske mreže.

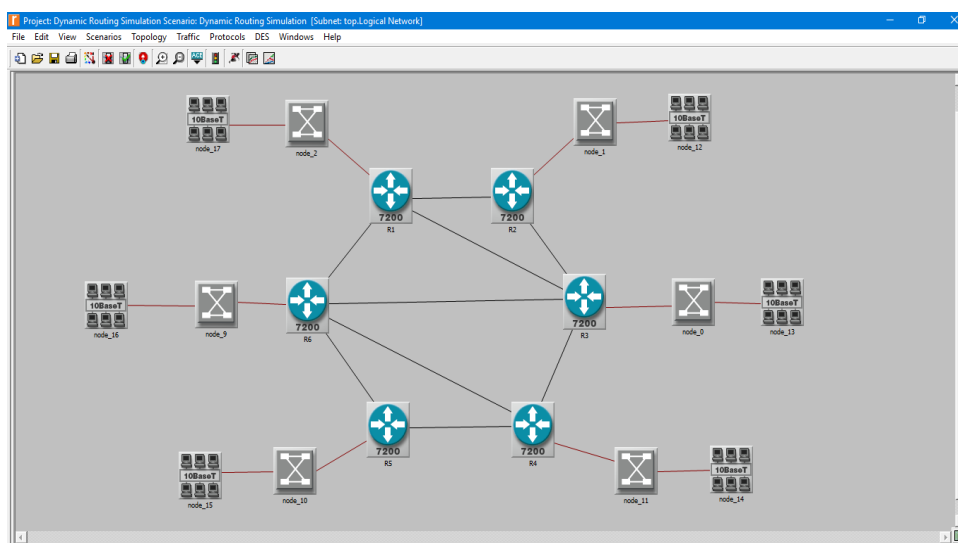
---

<sup>21</sup> MTU (eng. *Maximum Transmission Unit*): maksimalna veličina podatkovne jedinice mrežnog sloj.

<sup>22</sup> CPU (eng. *Central Processing Unit*): središnja procesorska jedinica, dio rutera koji izvršava naredbe zadane od strane mrežnog administratora.

Softver nije besplatan i trenutno su dostupne *trial* verzije na 10, 30 ili 90 dana. Dostupan je za preuzimanje na Microsoft Windows i Linux operativnim sustavima [29]. Za potrebe ovog rada korištena je akademska verzija 17.5. Simulirana mreža koja će se koristiti za potrebe analize različitih performansi protokola temelji se na *partial mesh* topologiji.

Za takvu topologiju karakteristično je da se linkovi između određenih čvorova strateški postavljaju ovisno o stvarnim prometnim potrebama. Mreža se sastoji od 6 podmreža. Podmreže su međusobno povezane preko DS3 (eng. *Digital Signal 3*) linkova<sup>23</sup>. Svaka podmreža sastoji se od Cisco 7200 rutera, Cisco 3600 preklopnika (eng. *Switch*) i 100BaseT LAN (eng. *Local Area Network*) mreže. Korištena mrežna topologija prikazana je na slici 15.



Slika 15: Prikaz korištene mrežne topologije za potrebe simulacije

## 5.2. Konfiguriranje postavki simulacije

Kako bi simulacija bila moguća, najprije je potrebno podesiti postavke aplikacija koje će se koristiti kao i pripadajuće profile [16].

### 5.2.1. Podešavanje postavki aplikacija i profila

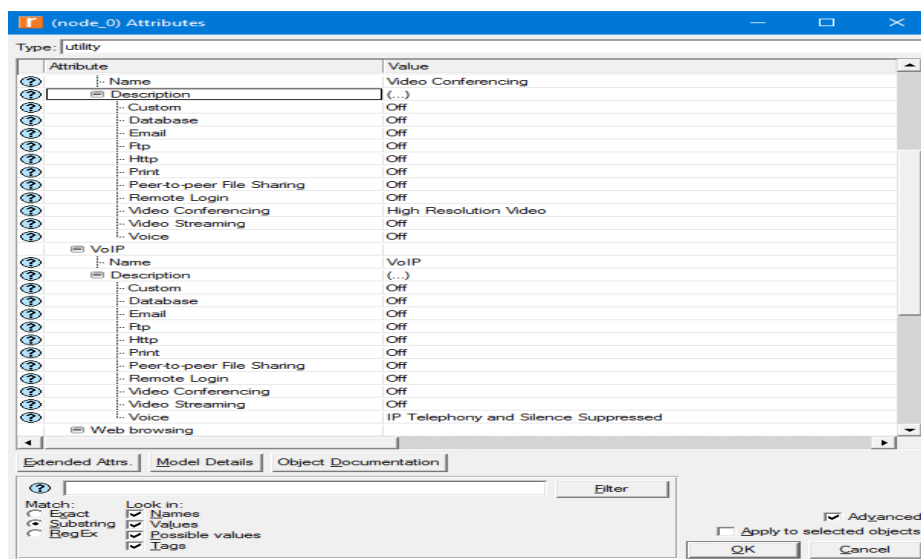
Na tablici 1 prikazane su aplikacije koje će se koristiti za simulaciju mreže. Navedene aplikacije koristit će se za analizu i usporedbu performansi odabranih protokola usmjeravanja.

<sup>23</sup> DS3 (eng. *Digital Signal 3*) link: T3 link namijenjen poslovnim korisnicima koji pruža brzine od 44.736 Mbit/s

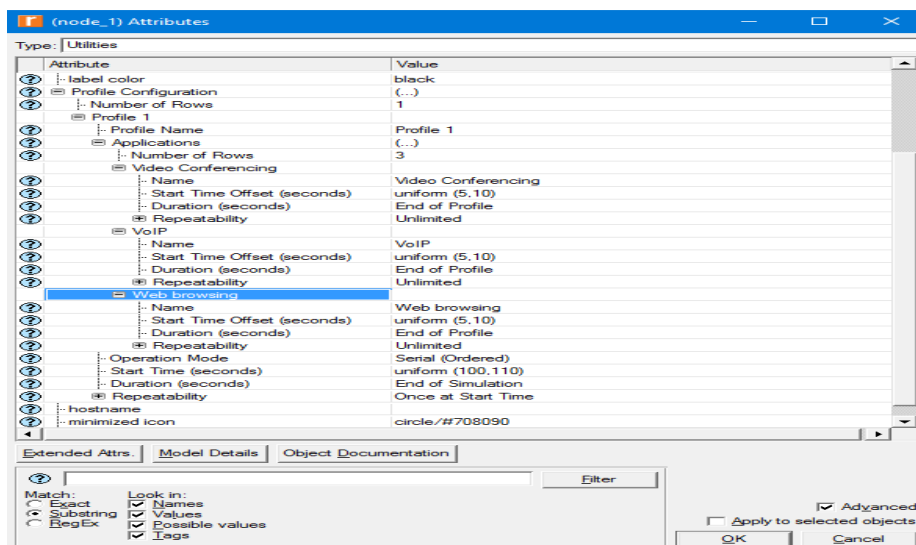
**Tablica 1:** Postavke aplikacija

Video konferencija	Video visoke rezolucije
HTTP	Učestalo „surfanje“
Govor	IP telefonija ( <i>silence suppression</i> )

Nakon toga potrebno je podešavanje postavki za svaku od navedenih aplikacija. Odabrane aplikacije primjenjuju se na svaku od ukupno šest postavljenih podmreža. Na slici 16 prikazano je podešavanje postavki za korištene aplikacije, a na slici 17 podešavaju se postavke profila.



**Slika 16:** Konfiguracija postavki aplikacija



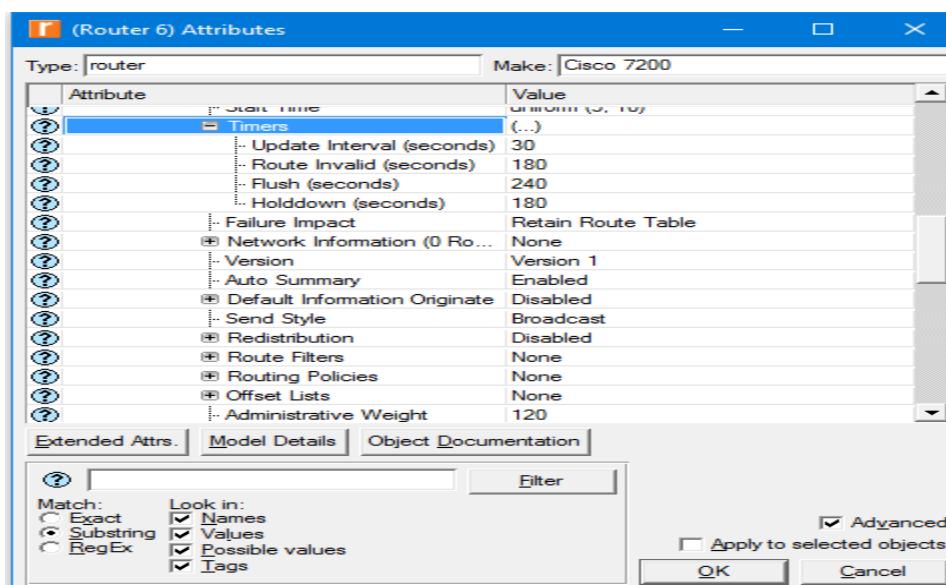
**Slika 17:** Konfiguracija profila aplikacija

### 5.3. Implementacija dinamičkih protokola usmjeravanja

Idući korak u simulaciji je implementacija protokola nad kojima će se vršiti analiza u svim čvorovima mreže. Moguće je konfigurirati i podesiti parametre koji su specifični za svaki protokol. Riverbed Modeler daje unaprijed definirane vrijednosti za svaki parametar određenog protokola stoga je ovdje dan pregled pripadajućih vrijednosti parametra.

#### 5.3.1. Parametri RIP protokola

Na slici 18 dan je prikaz unaprijed definiranih vrijednosti parametara RIP protokola.



Slika 18: RIP parametri

Iz prikazanih vrijednosti, moguće je navedene parametre i pripadajuće vrijednosti prikazati kao tablicu u kojoj je detaljnije opisano značenje *update*, *invalid*, *flush* i *holddown timer*-a. Navedene vrijednosti postaju automatski važeće za sve rutere u mreži.

Kada je na određenom ruteru konfiguriran RIP kao dinamički protokol usmjeravanja, on šalje *Request Message* preko svih sučelja na kojima je RIP podešen. Susjedni ruteri na tu poruku odgovaraju s *Response Message* porukom koja u sebi sadrži tablice usmjeravanja koje ruteri imaju pohranjene u svojim RAM memorijama [30].

U tablici 2 detaljnije su opisane vrijednosti RIP parametara i prikazane su unaprijed definirane vrijednosti *update*, *invalid*, *flush* i *holddown timer*-a.

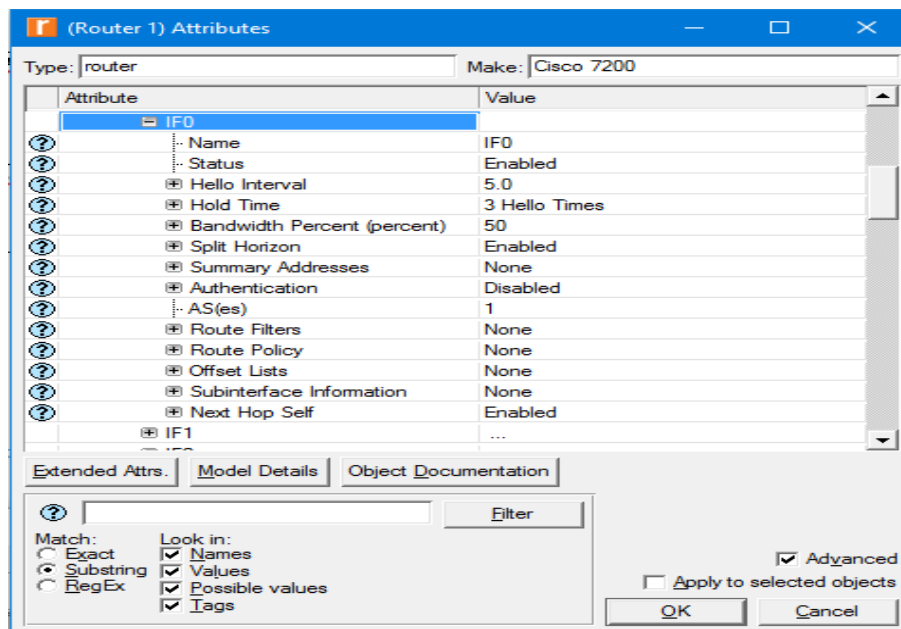
**Tablica 2:** Vrijednosti RIP parametara

	Opis	Unaprijed definirana vrijednost
<i>Update interval</i>	Intervali u kojima RIP ruteri šalju ažuriranja susjednim ruterima	30 sekundi
<i>Route invalid</i>	Interval nakon kojeg je ruta proglašena nevažećom i nakon kojeg prelazi u <i>holddown</i> stanje	180 sekundi
<i>Flush</i>	Interval vremena koji mora proći prije nego što je ruta u potpunosti izbrisana iz tablice usmjerenja	240 sekundi
<i>Holddown</i>	Interval tijekom kojeg se ignoriraju ažuriranja za rutu koja je nevažeća	180 sekundi

Izvor: [31]

### 5.3.2. Parametri EIGRP protokola

Na slici 19 dan je prikaz unaprijed definiranih vrijednosti parametara EIGRP protokola.



**Slika 19:** EIGRP parametri

Tablicom 3 također su prikazana i pojašnjena značenja parametara kreirana za EIGRP protokol.

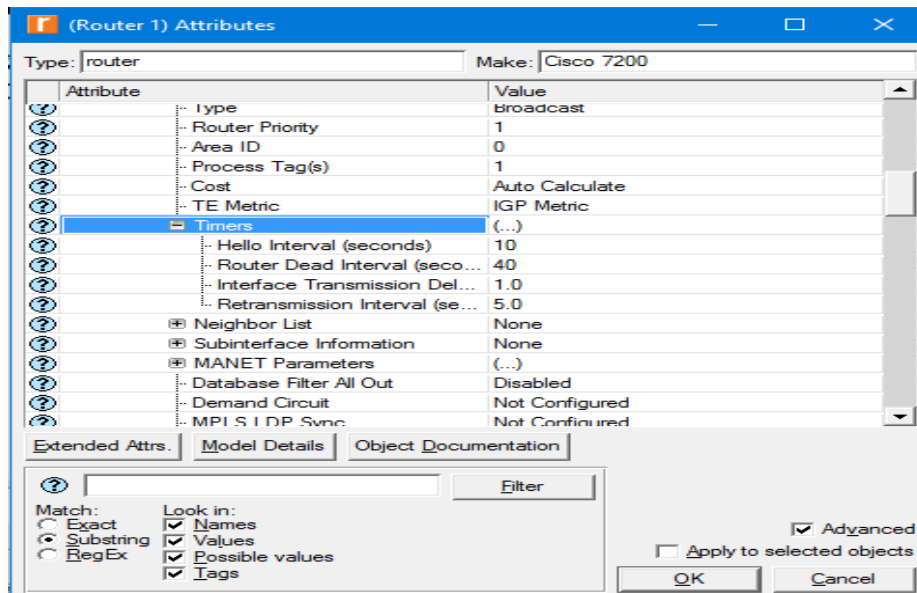
**Tablica 3:** Vrijednosti EIGRP parametara

	Opis	Unaprijed definirana vrijednost
<i>Hello interval</i>	Koliko često EIGRP ruter šalje <i>hello</i> poruke susjednim ruterima	5 sekundi
<i>Hold time</i>	Koliko dugo ruter čeka iduću <i>hello</i> poruku susjednog rutera prije nego se taj ruter označi kao nevažće	3 Hello times
<i>Route filter</i>	Lista za filtriranje primljenih i poslanih ruta s nekog sučelja	Nije omogućeno
<i>Split horizon</i>	Ne oglašava rutu susjednim ruterima od kojih je ruta naučena	Omoćuće

Izvor: [31]

### 5.3.3. Parametri OSPF protokola

Na slici 20 dan je prikaz unaprijed definiranih vrijednosti parametara OSPF protokola.



**Slika 20:** OSPF parametri

Za OSPF protokol kreirana je tablica 4 kojom se pojašnjuje značenje parametara:

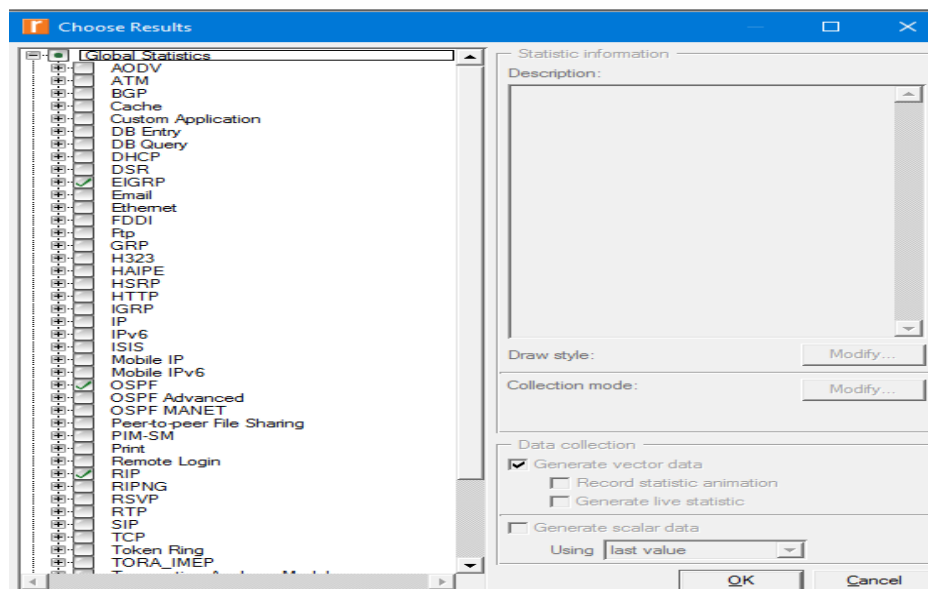
**Tablica 4:** Vrijednosti OSPF parametara

	Opis	Unaprijed definirana vrijednost
<i>Hello interval</i>	Koliko često OSPF ruter šalje <i>hello</i> poruke susjednim ruterima	10 sekundi
<i>Router dead interval</i>	Nakon koliko sekundi se ruter označuje nevažećim ako ne pristižu <i>hello</i> poruke	40 sekundi
<i>Interface transmission</i>	Vrijeme potrebno za transmisiju <i>Link State Advertisement</i> paketa	1 sekunda
<i>Retransmission interval</i>	Vrijeme između LSA retransmisija	5 sekundi

Izvor: [31]

#### 5.3.4. Odabir tehničkih značajki za analizu

Kako bi simulacija bila moguća, kao što je prikazano na slici 21, potrebno je odabrati željene karakteristike nad kojima će se vršiti analiza.

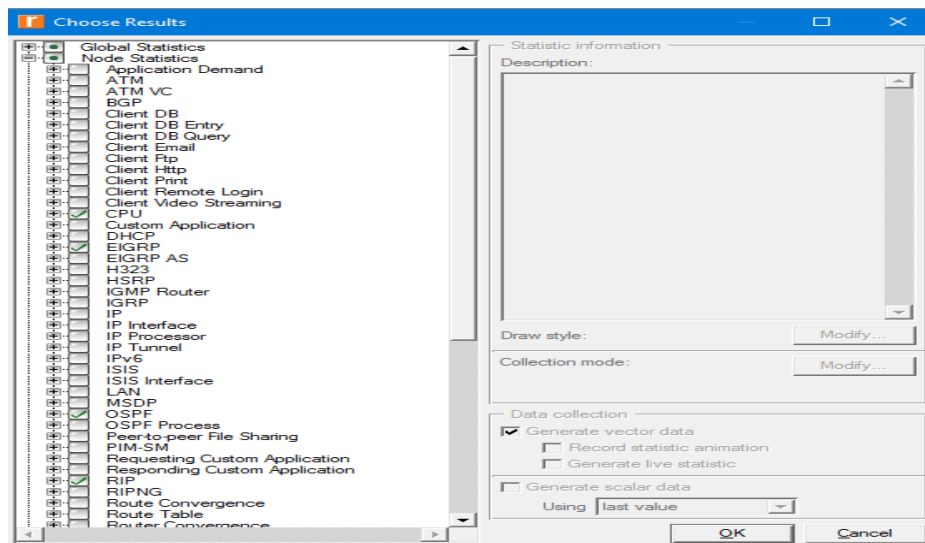


**Slika 21:** Odabir parametara za globalnu statistiku

Vidljivo da su parametri nad kojima će se vršiti analiza za svaki od tri protokola (aktivnost mrežne konvergencije, promet koji generira protokol) odabrani pod globalnim statistikama

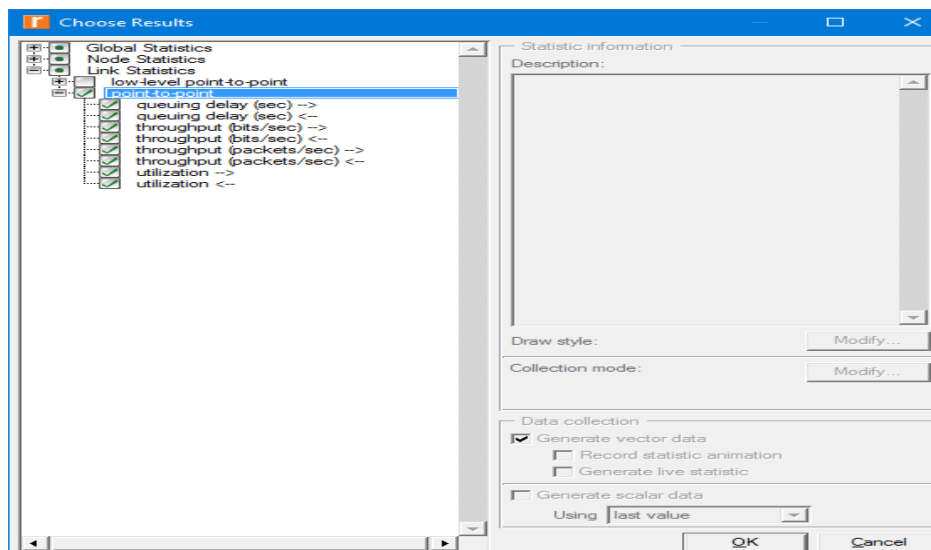


(eng. *Global statistics*). Na slici 22 prikazan je odabir analize opterećenja procesora koji zahtijeva protokol u svakom ruteru pod statistikama čvora (eng. *Node statistics*).



Slika 22: Odabir parametara za statistiku čvora

Na slici 23 prikazan je odabir parametara za statistiku linkova (eng. *Link statistics*).



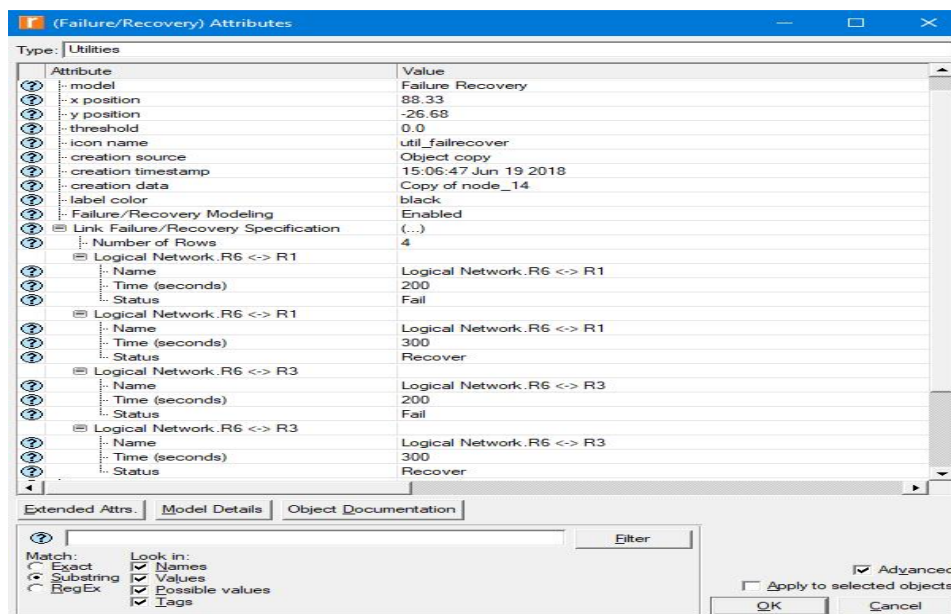
Slika 23: Odabir parametara za statistiku linkova

Odabrani parametri za analizu su zauzeće kapaciteta mreže, potrebna propusnost i kašnjenje i za svaki protokol.

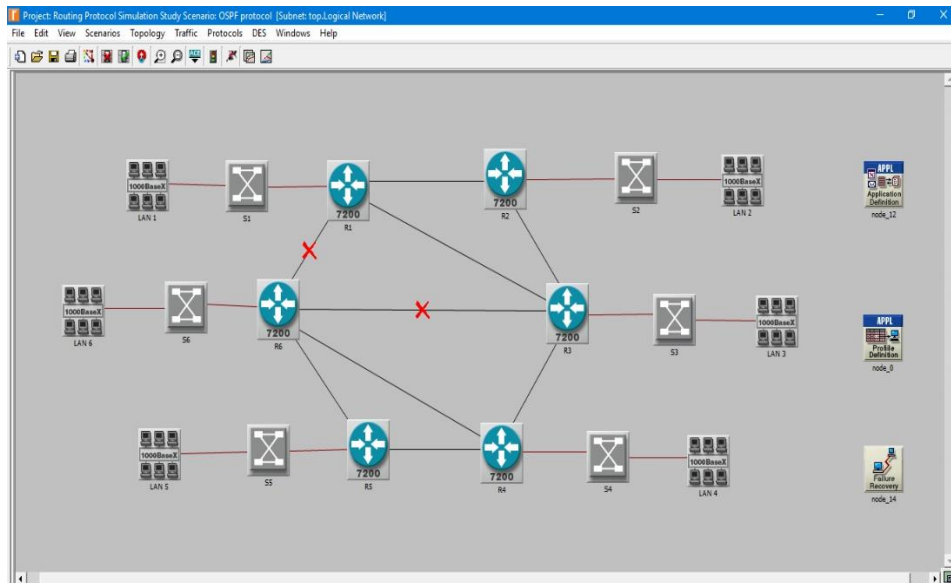
## 5.4. Analiza tehničkih značajki protokola

U kreiranoj mreži najprije će se implementirati RIP protokol, zatim će se ista mreža koristiti za implementaciju EIGRP-a i OSPF-a. Simulacija je izvršena kao DES (eng. *Discrete Event Simulation*), a ukupno trajanje simulacije iznosi 10 minuta. RIP će na sljedećim grafičkim prikazima biti označen zelenom, EIGRP plavom, a OSPF crvenom bojom. Za potrebe ispitivanja tehničkih karakteristika protokola poput trajanja intervala aktivnosti mrežne konvergencije, opterećenja CPU-a, zauzeća kapaciteta mreže, propusnosti i kašnjenja simulirana su dva kvara: na linku koji povezuje ruter 6 i ruter 1 i na linku koji povezuje ruter 6 i ruter 3.

Početak ispada oba linka je podešen na 200 sekundi, a oporavak linkova je podešen na 300 sekundi od početka simulacije kao što je prikazano na slici 24, dok su na slici 25 crvenom bojom prekriveni spomenuti linkovi kako bi bilo jasnije prikazano na kojima linkovima je simuliran kvar i oporavak. Simulacijom kvara na linkovima i uvidom u rezultate testiranja moguće je otkriti koji je dinamički protokol za usmjeravanje najotporniji na neočekivane događaje poput kvarova i ispada čvorova ili linkova u mreži.



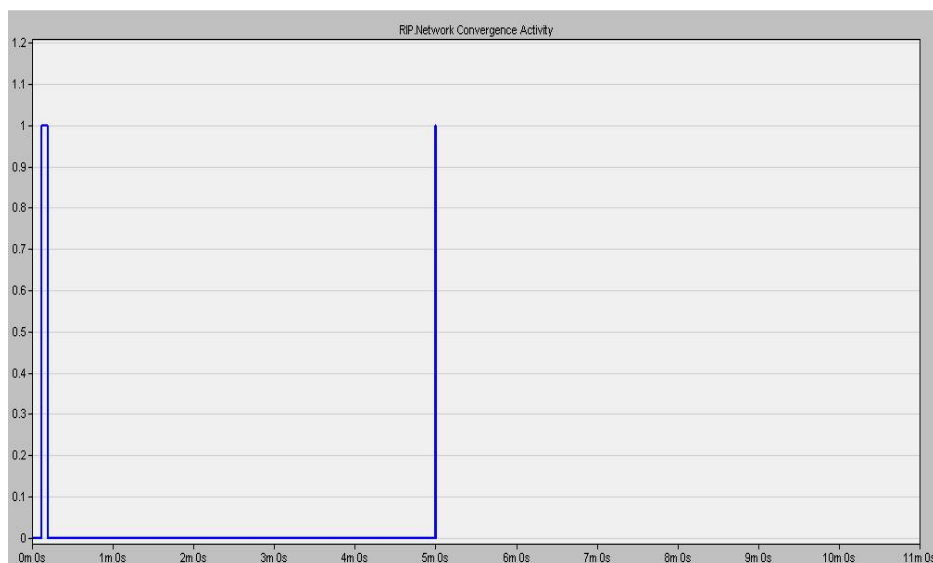
Slika 24: Simulacija kvara na linku



**Slika 25:** Prikaz linkova na kojima je simuliran kvar

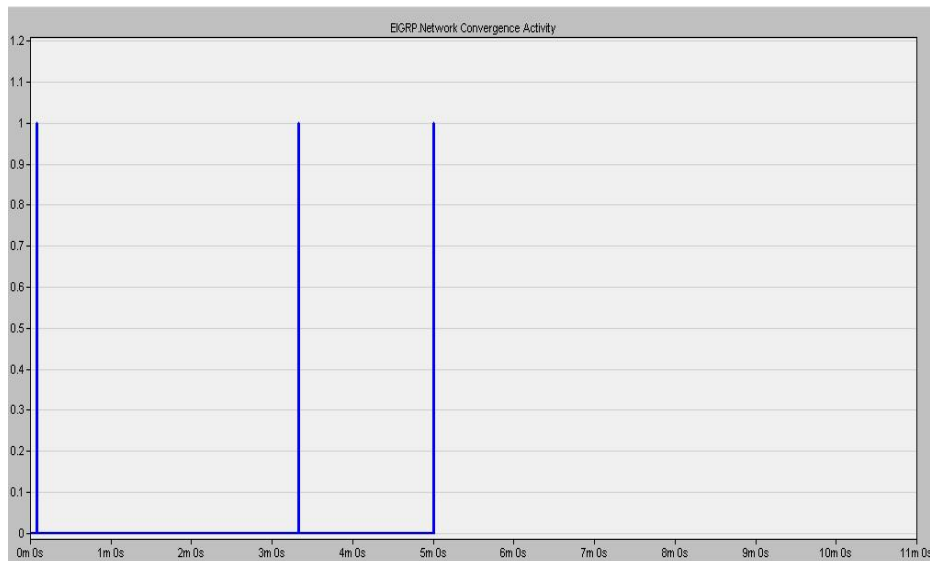
#### 5.4.1. Analiza aktivnosti mrežne konvergencije

Aktivnost mrežne konvergencije prikazana je ograničenim skupom vrijednosti (0 i 1), pri čemu je nula vremenski interval u kojem nije zabilježena aktivnost konvergencije, dok je jedinica vremenski interval u kojem je primijećena aktivnost konvergencije na nekom mjestu u mreži [29]. Na slici 26 prikazan je graf koji prati aktivnosti mrežne konvergencije RIP protokola (jedinicom je označena aktivnost, a nulom da nema aktivnosti).

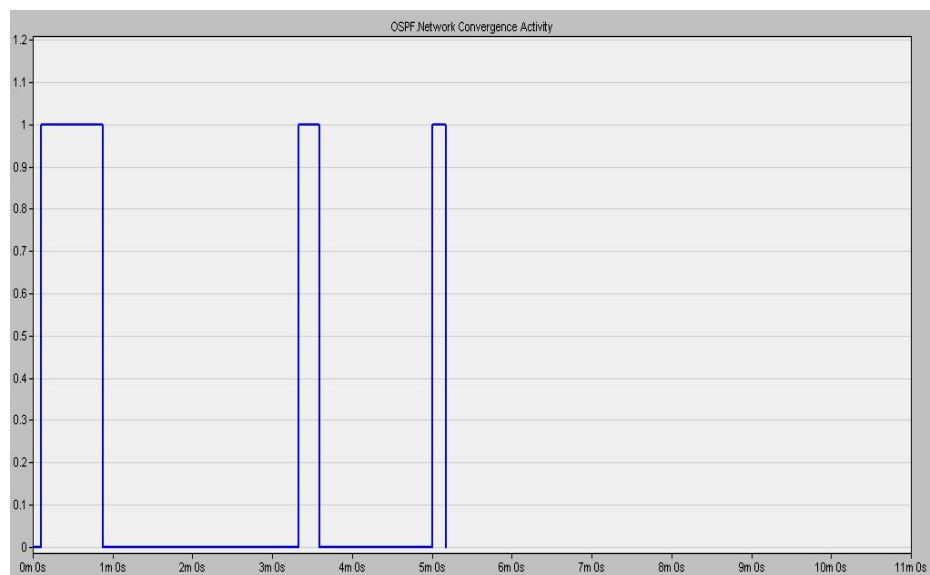


**Slika 26:** Analiza aktivnosti mrežne konvergencije RIP protokola

Vidljivo je da RIP protokol nije registrirao kvarove linkova 200 sekundi od početka simulacije, već je zabilježena aktivnost samo u trenutku oporavka linkova (nakon 300 sekundi) zato što RIP ruteri šalju svoje kompletne tablice usmjeravanja susjedima svakih 30 sekundi pa stoga nema posebne aktivnosti mrežne konvergencije u trenutku ispada. Za razliku od njega kod protokola EIGRP vidljiva je aktivnost odmah nakon "urušavanja" linkova. Kod oba protokola može se uočiti vrlo kratak interval aktivnosti. Na slici 27 prikazana je aktivnost mrežne konvergencije za EIGRP protokol, a na slici 28 prikazana je aktivnost mrežne konvergencije i za OSPF protokol.



**Slika 27:** Analiza aktivnosti mrežne konvergencije EIGRP protokola



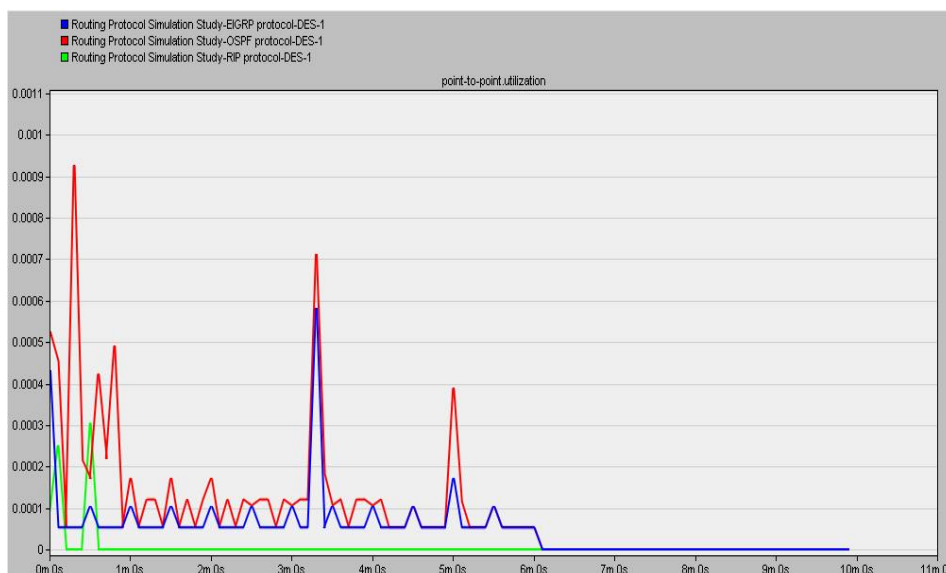
**Slika 28:** Analiza aktivnosti mrežne konvergencije OSPF protokola

Na slici 28 je vidljivo da OSPF protokol reagira odmah po nastanku problema (rušenju linkova), ali i da je period aktivnosti mrežne konvergencije duži nego kod prethodna dva protokola. Iz priloženog se stoga može zaključiti da EIGRP protokol najbrže reagira na promjene u mrežnoj topologiji, duljine intervala aktivnosti konvergencije u trenucima ispada i oporavka linkova signaliziraju da su tablice usmjeravanja vrlo brzo ažurirane.

OSPF ima i uvjerljivo najduže vrijeme trajanja aktivnosti konvergencije na početku simulacije u usporedbi s ostala dva protokola, što se može pripisati kompleksnom SPF algoritmu za izračun optimalnih ruta do svakog odredišta u mreži. To dakako zahtijeva i mnogo više hardverskih resursa. Vremenski intervali usklađivanja tablica usmjeravanja na 200 i na 300 sekundi traju nešto duže nego kada je na svim ruterima u mreži implementiran EIGRP protokol.

#### 5.4.2. Analiza zauzeća kapaciteta mreže, propusnosti i kašnjenja

U ovom dijelu poglavlja provedena je analiza zauzeća kapaciteta mreže odnosno njenih linkova, propusnosti na linkovima koje su imali pojedini protokoli, te kašnjenje koje se odnosi na vremenski interval koji počinje u trenutku kada prvi paket uđe u red čekanja rutera pa sve do trenutka kada je zadnji paket poslan prema odredištu. Korišteni programski alat omogućuje prikaz stanja svih linkova, ali u radu će biti prikazano samo na primjeru jednog linka. Usporede li se vrijednosti zauzeća kapaciteta i propusnosti za sve linkove u mreži može se uočiti da linkovi izravno povezani s ruterima 1, 3 i 6 (ruteri koji sudjeluju u simulaciji ispada i oporavka) zahtijevaju veći kapacitet i propusnost. Na slici 29 grafički je prikazano zauzeće kapaciteta linka izraženo u postotku, između dva rutera (link između rutera 2 i 3) i za sva tri protokola.



Slika 29: Analiza zauzeća kapaciteta mreže (link između rutera 2 i 3)

Može se uočiti da EIGRP (plava krivulja) pokazuje bolje karakteristike u odnosu na OSPF (crvena krivulja) s obzirom na analizu zauzeća kapaciteta mreže. OSPF generira više prometa na početku (uspostava tablica usmjeravanja) i u trenucima ispada i oporavka linkova. Također se može vidjeti da RIP protokol generira najmanje prometa pa time i zahtijeva najmanje kapaciteta mreže. Razlog tomu je što se kod RIP protokola kontinuirano (svakih 30 sekundi) šalju tablice usmjeravanja svim susjednim ruterima (detaljnije opisano u poglavlju 4) pa se povećanje prometa ne registrira u trenucima ispada i oporavka linkova.

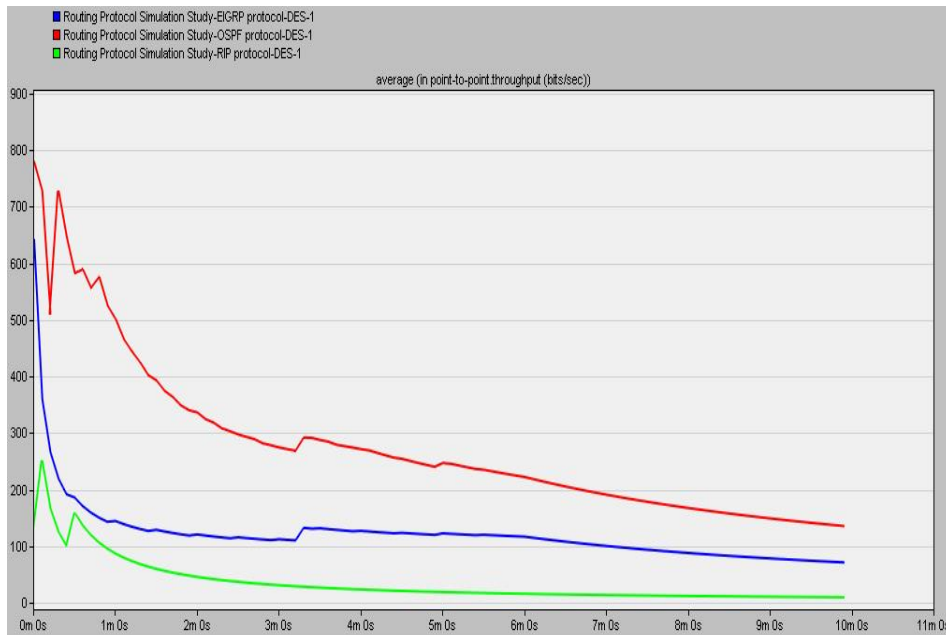
OSPF protokol zahtijeva veći kapacitet mreže u odnosu na EIGRP i RIP. To se može pripisati preplavlivanjem mrežnih uređaja LSA paketima koji se međusobno izmjenjuju između svih čvorova u mreži na početku simulacije i prilikom ispada i oporavka linkova. Na temelju tih paketa svaki ruter ponovno izračunava najbolji put do svakog odredišta u mreži pomoću Dijkstrinog algoritma.

Prikazani graf temelji se na ukupnoj količini prometa koji određeni protokol generira za uspostavu i ažuriranje tablica usmjeravanja od strane svih čvorova i svih mrežnih sučelja na kojima je protokol konfiguriran i aktiviran. Analiza zauzeća kapaciteta mreže mjerena je u postocima i prikazuje ukupnu potrošnju dostupne pojasne širine na određenom linku. OSPF protokol na početku simulacije kreira uvjerljivo najveću količinu prometa za izgradnju tablica usmjeravanja, a vremenski interval u kojem generira pakete traje duže nego kod RIP-a i EIGRP-a stoga mnogo više zauzima dostupni kapacitet na linku između rutera 2 i rutera 3.

Kod simulacije kvara i oporavka linkova između rutera 6 i rutera 1 i rutera 6 i rutera 3, vidljivo je kako zauzeće kapaciteta na linku raste i za EIGRP i za OSPF zbog ponovnih izračuna i kalkulacija idealnih ruta i izgradnje novih tablica usmjeravanja. Prilikom ispada linkova 200 sekundi od početka simulacije EIGRP protokol zauzima nešto manje od 0.0006% dok OSPF zauzima nešto više od 0.0007% ukupnog kapaciteta na linku. 300 sekundi od početka simulacije u trenutku kada se oba linka oporave, EIGRP-u je za konvergenciju potrebno više nego duplo manje ukupnog dostupnog kapaciteta u odnosu na OSPF i iznosi oko 0.0002% dok istovremeno OSPF zauzima 0.0004 %.

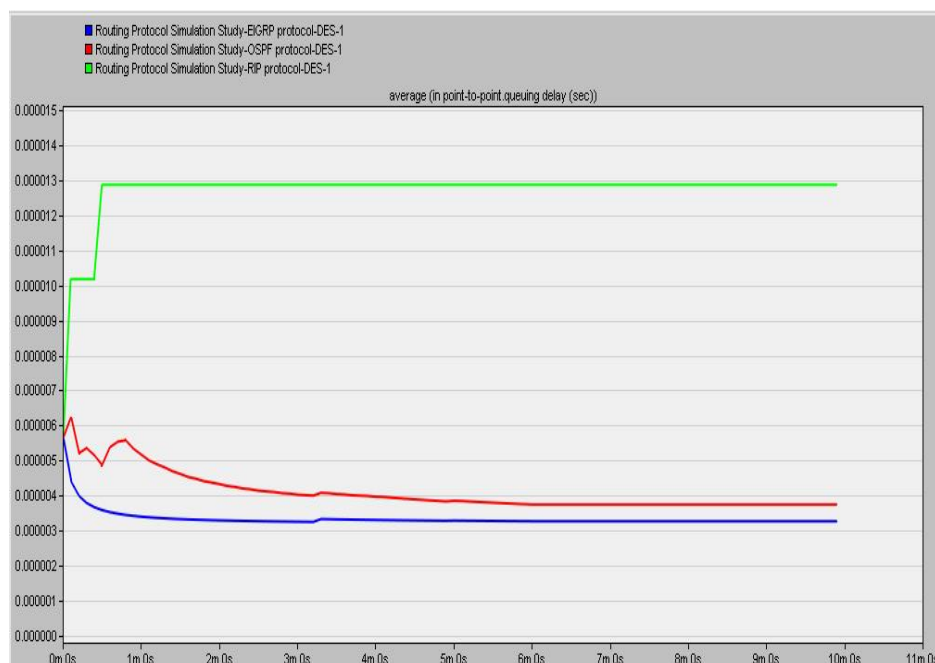
Na slici 30 prikazan je graf koji analizira i uspoređuje karakteristike s obzirom na propusnost u bitima po sekundi za sva tri protokola. Propusnost se na grafu odnosi na prosječan broj bita u sekundi koji su uspješno poslani od rutera 2 prema ruteru 3 preko komunikacijskih linkova. Na slici je vidljivo da potrebna propusnost za OSPF protokol prvih 30 sekundi na početku simulacije kod inicijalne izgradnje tablica usmjeravanja varira između 500 i 800 bita. EIGRP zahtijeva propusnost od približno 650 bita po sekundi na samom početku simulacije i s vremenom ta vrijednost osjetno pada. Za RIP protokol propusnost varira između 100 i 250 bita po sekundi. Kasnije, zahtijevane propusnosti između dva rutera osjetno padaju na vrijednosti od oko prosječno 100 bit/s za EIGRP i ispod 100 bit/s za RIP. Na 200 sekundi od početka simulacije prilikom ispada linkova između rutera 6 i rutera 1 i rutera 6 i rutera 3, vidljivo je

kako se propusnost blago povećava zbog preusmjeravanja prometa i iznosi oko 300 bita po sekundi za OSPF, 120 bita po sekundi za EIGRP i oko 50 bita za RIP protokol.



Slika 30: Analiza propusnosti (link između rutera 2 i 3)

Kašnjenje paketa između dva rutera grafički je prikazano na slici 31 za link između rutera 2 i rutera 3. Odnosi se na vremenski interval koji počinje u trenutku kada prvi paket uđe u red čekanja rutera pa sve do trenutka kada je zadnji paket poslan prema odredištu.



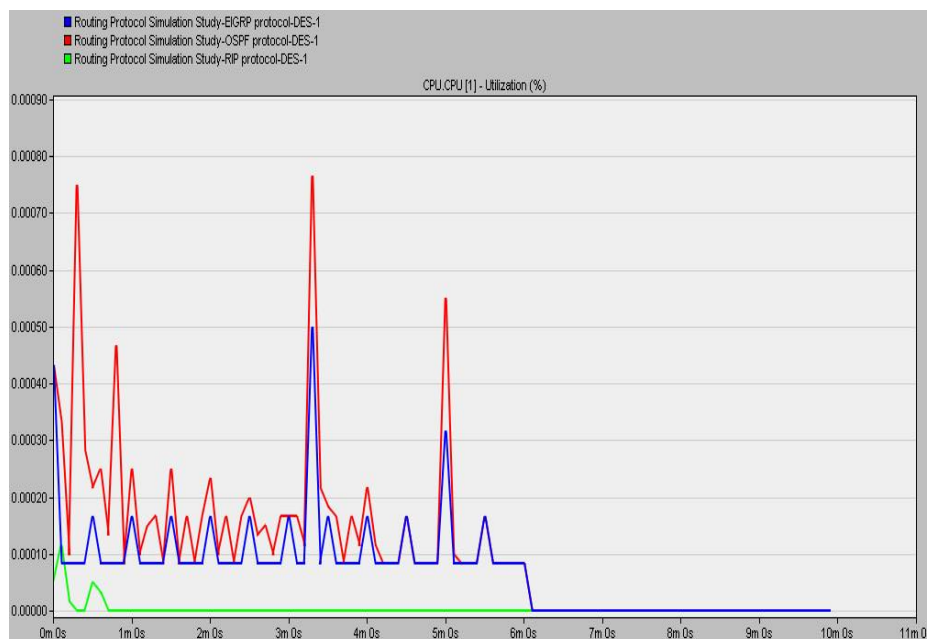
Slika 31: Analiza kašnjenja (link između rutera 2 i 3)

Svi ruteri stoga mogu privremeno pohraniti promet u red čekanja u slučaju zagušenja. Vidljivo je da je kašnjenje uvjerljivo najveće za RIP protokol što se može pripisati činjenici da RIP ruteri šalju svoje kompletne tablice usmjeravanja susjedima svakih 30 sekundi i veličini zaglavljaja paketa za izmjenu ruta. OSPF bilježi više nego duplo manje prosječno kašnjenje u odnosu na RIP. Paketi EIGRP protokola imaju najmanje kašnjenje u usporedbi s RIP-om i OSPF-om za zadanu topologiju.

### 5.4.3. Analiza opterećenja CPU-a

Analiza opterećenja CPU-a, tj. procesora, bilježi koliki postotak ukupnih procesorskih resursa svaki pojedini protokol troši za izračune i kalkulacije optimalnih ruta u mreži kao i za izgradnju i ažuriranje tablica usmjeravanja na početku simulacije i prilikom ispada i oporavka linkova. Napravljena je usporedba opterećenja procesora između rutera 2 i rutera 3 s ciljem uočavanja potencijalnih razlika između navedenih čvorova. Na slikama 32 i 33 je vidljivo da EIGRP manje opterećuje procesor od OSPF-a, dok je za RIP protokol opterećenje uvjerljivo najmanje.

Stoga se uvidom u prikazane grafove može uočiti da algoritam *Bellman-Ford* zahtijeva uvjerljivo najmanje hardverskih resursa za izračun optimalnih ruta u mreži za razliku od DUAL i SPF algoritma koji su ipak mnogo kompleksniji. Na slici 32 prikazano opterećenje procesora u postocima za ruter 2, dok je na slici 33 prikazano opterećenje procesora u postocima za ruter 3. Vidljivo da je prisutna razlika u opterećenju u odnosu na ruter 3 koji je mnogo više opterećen u trenucima ispada i oporavka linkova jer je izravno povezan DS3 linkom s Ruterom 6 za koji je simuliran kvar i oporavak 100 sekundi nakon kvara.

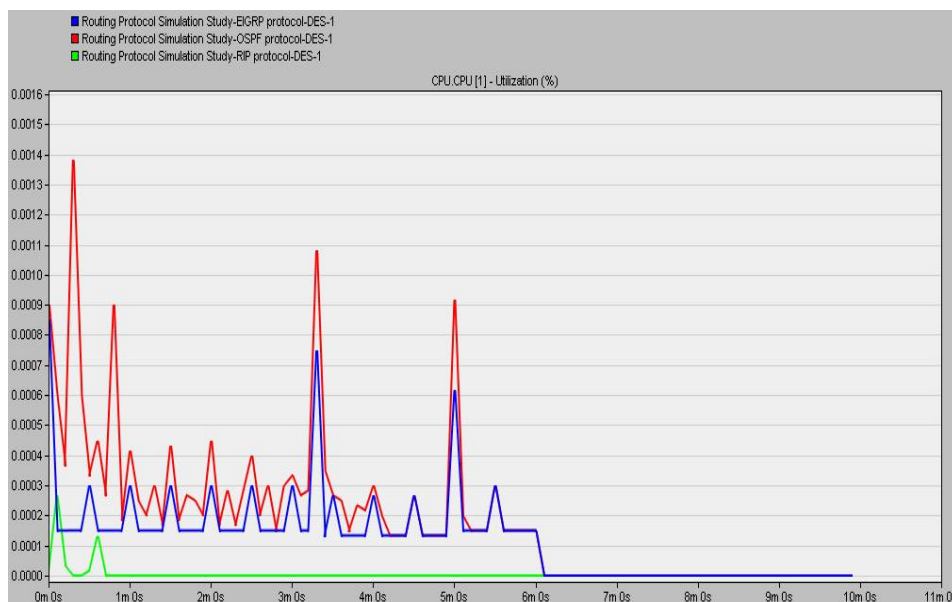


Slika 32: Analiza opterećenja CPU-a za R2



Sa slike 33 koja prikazuje opterećenje procesora za ruter 3 može se još jednom uočiti da OSPF i EIGRP zahtijevaju mnogo više procesorskih resursa u odnosu na RIP kao i na slici 32. Na 200 sekundi od početka simulacije kada je simuliran ispad linka između rutera 3 i rutera 6, OSPF troši oko 0.011% resursa procesora za obradu i procesiranje paketa za izgradnju i ažuriranje tablica usmjeravanja, dok je za EIGRP ta vrijednost nešto manja i iznosi 0.0008%.

Vrijednosti za oba protokola osjetno su manje na ruteru 2 i iznose 0.00075% i 0.0005%. Prilikom oporavka linka između rutera 3 i rutera 6, OSPF zahtijeva oko 0.0009%, a EIGRP zahtijeva oko 0.0006% resursa. Na ruteru 2 dobivene vrijednosti iznose 0.00055% za OSPF i oko 0.0003 za EIGRP. Iz priloženog se može zaključiti kako EIGRP zahtijeva manje hardverskih resursa za kreiranje, obradu i usmjeravanje paketa za izgradnju i ažuriranje tablica usmjeravanja u trenucima kada je potrebna brza konvergencija u mreži.



**Slika 33:** Analiza opterećenja CPU-a za R3

## 6. Komparacija protokola

Za zadanu mrežnu topologiju napravljena je komparativna analiza RIP, EIGRP i OSPF dinamičkih protokola za aplikacije poput VoIP-a (eng. *Voice over IP*), video konferencije i HTTP-a (eng. *HyperText Transfer Protocol*) u Riverbed Modeler simulacijskom softveru. Mreža koja se koristi za simulaciju sastoji se od ukupno 6 podmreža koje su međusobno povezane preko DS 3 linkova. Svaka podmreža sastoji se od Cisco 7200 rutera, Cisco 3600 preklopnika i 100BaseT lokalne mreže. Analizirale su se tehničke karakteristike protokola kao što je brzina kojom se ruter prilagođava promjeni topologije, mogućnost odabira najbolje rute između više mogućih ruta i količina prometa koji protokol generira. Osim navedenog, važnu ulogu pri analizi ima i opterećenje procesora koje zahtijeva određeni protokol, te kašnjenje i zauzeće kapaciteta mreže.

EIGRP u usporedbi s OSPF-om pokazuje bolje rezultate s obzirom na kašnjenje, opterećenje procesora rutera, aktivnost mrežne konvergencije i propusnost potrebnu za razmjenu informacija s ostalim ruterima. Taj protokol troši vrlo malo mrežnih resursa tijekom normalnog rada zato što u takvim situacijama drugim ruterima u mreži šalju samo kratki *hello* paketi koji se koriste za uspostavu konekcija sa susjednim uređajima. Ne zahtijeva da je mreža dizajnirana hijerarhijski kako bi uspješno funkcionirala i njegovom implementacijom postiže se veća stabilnost mreže i lakše održavanje.

Kod promjene mrežne topologije, EIGRP pokazuje najbolja svojstva kod duljine vremenskih intervala aktivnosti mrežne konvergencije tijekom kojih dolazi do izgradnje i ažuriranja tablica usmjeravanja. OSPF je u tom segmentu najsporiji na početku simulacije, dok su rezultati pri ispadu i oporavku linkova osjetno bolji. Tablica 5 prikazuje duljine vremenskih intervala aktivnosti mrežne konvergencije kao što se može vidjeti na slikama 26, 27 i 28 pri čemu „s“ označava sekunde kao mjernu jedinicu.

**Tablica 5:** Vrijednosti duljine intervala aktivnosti mrežne konvergencije

	RIP	EIGRP	OSPF
Početak simulacije	10 s	5 s	50 s
200 s	-	5 s	20 s
300 s	5 s	5 s	10 s

U mreži koja koristi OSPF kao protokol usmjeravanja svaki ruter u svojoj memoriji pohranjuje informacije o topologiji cijele mreže. Ruteri međusobno razmjenjuju podatke o usmjeravanju tako da svaki od njih šalje LSA pakete koji sadrže informacije o stanju veze i na temelju tih paketa svaki ruter ponovno računa optimalne rute do svakog odredišta u mreži. OSPF ruteri

na početku simulacije otkrivaju svoje susjedne rutere i njihove mrežne adrese, zatim se mjeri kašnjenje do svakog susjeda. Paket koji sadrži prikupljene podatke šalje se svim ostalim ruterima i izračunava se najbolji put pomoću Dijkstrinog algoritma zbog čega aktivnost mrežne konvergencije u inicijalnoj fazi traje dulje nego kod EIGRP i OSPF protokola.

RIP protokol također pokazuje vrlo dobre rezultate pri analizi aktivnosti i trajanja mrežne konvergencije, ali u većim mrežama dolazi do stvaranja mrežnih petlji zbog neažuriranih tablica usmjeravanja stoga nije primjeren za implementaciju u većim mrežama. RIP zbog svoje jednostavnosti i korištenja metrike koja uključuje broj skokova, mnogo manje opterećuje procesor rutera od EIGRP-a i OSPF-a koji koriste kompleksne algoritme (DUAL i SPF) stoga za rad zahtijevaju snažnije hardverske resurse.

U tablici 6 prikazane su izmjerene propusnosti za svaki od tri protokola kao što je vidljivo na slici 30. Propusnost se odnosi na prosječan broj bita u sekundi koji su uspješno poslani od rutera 2 prema ruteru 3 preko komunikacijskih linkova. Iz tablice je vidljivo da EIGRP zahtijeva manju propusnost u odnosu na OSPF kod ispada i oporavka linka.

**Tablica 6:** Vrijednosti izmjerene propusnosti

	RIP	EIGRP	OSPF
Početak simulacije	150 bit/s	650 bit/s	780 bit/s
200 sekundi	50 bit/s	130 bit/s	300 bit/s
300 sekundi	30 bit/s	120 bit/s	250 bit/s

Tablica 7 prikazuje izmjerene vrijednosti kašnjenja u sekundama s grafa na slici 31. Vidljivo je da je kašnjenje uvjerljivo najveće za RIP stoga taj protokol nije pogodan za implementaciju u većim računalnim mrežama čije aplikacije zahtijevaju visoku propusnost, malo kašnjenje i brzo vrijeme odaziva kakve su uobičajene kod današnjih poslovnih korisnika.

**Tablica 7:** Vrijednosti kašnjenja

	RIP	EIGRP	OSPF
Početak simulacije	0.00006 s	0.000006 s	0.000006 s
200 sekundi	0.000013 s	0.000003 s	0.000004 s
300 sekundi	0.000013 s	0.0000035 s	0.000004 s

Iz svega navedenog može se zaključiti kako je EIGRP, hibridni protokol koji ima karakteristike protokola vektora udaljenosti i stanja veze, najbolji izbor pri odlučivanju o implementaciji protokola za dinamičko usmjeravanje uzimajući u obzir dobivene rezultate testiranja. Njegove prednosti posebice dolaze do izražaja u velikim mrežama koje zahtijevaju brzu konvergenciju i malo kašnjenje, skalabilnost te lakoću održavanja i administracije. EIGRP dizajniran je upravo s tim razlogom, da minimizira nestabilnost usmjeravanja kod kvarova na mreži i promjena topologije kao i potrošnju komunikacijskih i procesorskih resursa.

## 7. Zaključak

Kroz prva četiri poglavlja obuhvaćeni su teoretski koncepti koji služe kao uvod u problematiku implementacije dinamičkih protokola za usmjeravanje. Opisani su osnovni koncepti prijenosa podataka komutacijom paketa, statički i dinamički algoritmi usmjeravanja, te način rada najznačajnijih predstavnika dinamičkih protokola za usmjeravanja unutar jednog autonomnog sustava. Međusobno umrežavanje različitih uređaja, razvoj mrežne infrastrukture i sve kompleksnije računalne mreže ukazuju na važnost ispravne odluke prilikom odlučivanja o implementaciji protokola za usmjeravanje koji omogućuju efikasan i učinkovit rad mreže.

Dinamički protokoli usmjeravanja moraju osigurati odabir optimalne rute kojim će putovati paketi od izvora do odredišta. Statički algoritmi usmjeravanja nemaju mogućnost učenja o stanju mrežne topologije u stvarnom vremenu pa stoga nisu u mogućnosti odgovoriti na složene zahtjeve usmjeravanja u velikim računalnim mrežama i pogodni su za primjenu samo u manjim lokalnim mrežama. Dinamički protokoli mogu međusobno razmjenjivati i analizirati poruke promjene tablica usmjeravanja što omogućuje prilagodbu uvjetima u mreži u stvarnom vremenu. Nadalje, osiguravaju i redundantne rute u slučaju kvara nekog linka ili čvora.

Protokoli vektora udaljenosti koriste broj skokova kao metriku prilikom računanja idealne rute, a susjednim ruterima šalje se kompletna tablica usmjeravanja. Efikasno funkcioniraju u malim mrežama i jednostavni su za konfiguriranje i održavanje. Ipak, kod većih računalnih mreža pokazuju slabija konvergencijska svojstva pa se stoga u srednjim i velikim mrežama pretežito koriste protokoli stanja veze. Ruteri na kojima su implementirani protokoli stanja veze poznaju cijelu topologiju mreže i ne šalju kompletnu tablicu usmjeravanja, nego se svim ruterima u mreži šalje informacija o stanju veze što omogućuje efikasan izračun svih raspoloživih ruta za danu mrežu.

U petom poglavlju napravljena je analiza računalne mreže koristeći *Riverbed Modeler* simulacijski softver u slučaju implementacije različitih protokola dinamičkog usmjeravanja s obzirom na trajanje intervala aktivnosti mrežne konvergencije, opterećenje CPU-a, zauzeće kapaciteta mreže, propusnost i kašnjenje. U šestom poglavlju napravljena je komparacija implementiranih protokola prema analizi dobivenih rezultata. Razmatrajući tehničke karakteristike pojedinih protokola, zaključeno je da je EIGRP pokazuje bolja svojstva u usporedbi s OSPF-om u gotovo svim segmentima stoga je upravo EIGRP kao hibridni protokol idealan za implementaciju u računalnim mrežama svih veličina.

## Literatura

- [1] *Nastavni materijali iz kolegija Komutacija i upravljanje u telekomunikacijskoj mreži*, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni studijski centar za stručne studije, Split, 2011.
- [2] Mrvelj Š., Matulin Z.: *Autorizirana predavanja i vježbe iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa 1*, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu
- [3] URL: <http://www.startnetworks.info/2011/08/ipv6-and-ipv4-headers.html>  
(pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [4] Kavran Z., Grgurević I.: *Autorizirana predavanja iz kolegija Računalne mreže*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016. (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [5] URL: <http://mreze.layer-x.com/s030100-0.html> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [6] URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/routers/1941-integrated-services-router-isr/index.html> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [7] Šarić S., Forenbacher I., Grgurević I.: *Autorizirana predavanja i vježbe iz kolegija Komutacijski procesi i sustavi*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.
- [8] URL: <http://www.omniseccu.com/cisco-certified-network-associate-ccna/different-types-of-router-memory.php> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [9] URL: [https://www.cisco.com/web/learning/netacad/demos/CCNA2v3Demo/ch1/1\\_1\\_2/index.html](https://www.cisco.com/web/learning/netacad/demos/CCNA2v3Demo/ch1/1_1_2/index.html) (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [10] URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3411> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [11] International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector of ITU: *Recommendation ITU-T E.800, Definitions of terms related to quality of service*
- [12] URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc826> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [13] URL: <http://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-02-183.pdf> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [14] URL: <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2180210&seqNum=5>  
(pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [15] URL: <http://telekomunikacije.etf.bg.ac.rs/predmeti/ot4ai/rutiranje-osnove.pdf>  
(pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [16] Sheela Ganesh Thorenoor: *Dynamic Routing Protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on Technical Background Using OPNET Modeler*,

- Second International Conference on Computer and Network Technology, p. 191-195, 2010
- [17] URL: <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2180210&seqNum=7>  
(pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [18] Tanenbaum, S. A., Wetherall, J. D.: *Computer Networks*, Preantice Hall, United States of America, Boston, Massachusetts, 2011.
- [19] Ladislav Havaš, Damira Keček, Kristijan Knez: *Usporedba i primjena „Distance Vector” i „Link State” mrežnih protokola*, Tehnical journal 7, p. 108-115, 2013.
- [20] URL: [http://docwiki.cisco.com/wiki/Routing\\_Information\\_Protocol](http://docwiki.cisco.com/wiki/Routing_Information_Protocol) (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [21] T.H. Cormen, C.E. Leirserson, R.L. Rivest, C. Stein: *Introduction to Algorithms*, Massachusetts, 2009.
- [22] <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/enhanced-interior-gateway-routing-protocol-eigrp/16406-eigrp-toc.html> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [23] R. Jayaprakash, K. Saroja: *RIP, OSPF, EIGRP Routing Protocols*, International Journal of Research in Computer Applications and Robotics, vol.3, p. 72-79, 2015
- [24] URL: <http://www.routeralley.com/guides/eigrp.pdf> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [25] Robert Poljak: *Korištenje OSPF usmjerničkog protokola na mrežnim usmjernicima s RouterOS softverom*, stručni rad, Međimurje IPC d.d., Čakovec
- [26] URL: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/7039-1.html#t> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [27] URL: [http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2006/SovicMarina\\_Protokolizausmjeravanje.pdf](http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2006/SovicMarina_Protokolizausmjeravanje.pdf) (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [28] URL: <http://www.routeralley.com/guides/ospf.pdf> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [29] URL: <https://www.riverbed.com/gb/> (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [30] URL: [http://www.cisco.com/c/m/en\\_us/techdoc/dc/reference/cli/nxos/commands/rip/timers-basic.html](http://www.cisco.com/c/m/en_us/techdoc/dc/reference/cli/nxos/commands/rip/timers-basic.html) (pristupljeno: lipanj, 2018.)
- [31] URL: [http://www2.ensc.sfu.ca/~ljilja/ENSC427/Spring15/Projects/team11/ENSC427\\_team11\\_report.pdf](http://www2.ensc.sfu.ca/~ljilja/ENSC427/Spring15/Projects/team11/ENSC427_team11_report.pdf) (pristupljeno: lipanj, 2018.)

## Popis kratica

AFI	Adress-Family Identifier
ARP	Address Resolution Protocol
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
AS	Autonomous System
BGP	Border Gateway Protocol
CPU	Central Processing Unit
DES	Discrete Event Simulation
DS3	Digital Signal 3
DUAL	Diffusing Update Algorithm
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
FC	Feasible Condition
FD	Feasible Distance
FS	Feasible Successor
FSM	Finite State Machine
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
ISP	Internet Service Provider
ISR	Integrated Services Router



LAN	Local Area Network
LSA	Link State Advertisement
LSR	Link State Request
LSU	Link State Update
MTU	Maximum Transmission Unit
MD5	Message Digest 5
NVRAM	Non-Volatile Random Access Memory
OSI	Open System Interconnection
OSPF	Open Shortest Path First
POST	Power On Self Test
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RAM	Random Access Memory
RD	Reported Distance
RFC	Request for Comments
ROM	Read-Only Memory
RIP	Routing Information Protocol
RTP	Reliable Transport Protocol
RTT	Round-Trip Time
SNMP	Simple Network Management Protocol
SPF	Shortest Path First
SRI	Stanford Research Institute

TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VoIP	Voice over Internet Protocol
VLSM	Variable Length Subnet Mask

## Popis slika

<b>Slika 1:</b> Usporedba zaglavlja IPv4 i IPv6 verzije protokola .....	3
<b>Slika 2:</b> Cisco 1941 ISR ruter .....	5
<b>Slika 3:</b> Arhitektura mrežnog upravljanja .....	6
<b>Slika 4:</b> Primjer korištenja statičkog usmjeravanja .....	10
<b>Slika 5:</b> Primjer dinamičkog usmjeravanja .....	11
<b>Slika 6 :</b> Značenje vektora udaljenosti.....	12
<b>Slika 7:</b> Funkcioniranje protokola stanja veze.....	13
<b>Slika 8:</b> Format RIPv1 paketa .....	16
<b>Slika 9:</b> Format RIPv2 paketa .....	16
<b>Slika 10:</b> Dijagram toka Bellman-Ford algoritma .....	17
<b>Slika 11:</b> Dijagram toka DUAL algoritma .....	19
<b>Slika 12:</b> Računanje najkraćeg puta EIGRP protokolom.....	20
<b>Slika 13:</b> Format OSPF paketa .....	23
<b>Slika 14:</b> Dijagram toka SPF algoritma .....	24
<b>Slika 15:</b> Prikaz korištene mrežne topologije za potrebe simulacije .....	26
<b>Slika 16:</b> Konfiguracija postavki aplikacija.....	27
<b>Slika 17:</b> Konfiguracija profila aplikacija.....	27
<b>Slika 18:</b> RIP parametri.....	28
<b>Slika 19:</b> EIGRP parametri .....	29
<b>Slika 20:</b> OSPF parametri.....	30
<b>Slika 21:</b> Odabir parametara za globalnu statistiku .....	31
<b>Slika 22:</b> Odabir parametara za statistiku čvora .....	32
<b>Slika 23:</b> Odabir parametara za statistiku linkova.....	32
<b>Slika 24:</b> Simulacija kvara na linku.....	33

<b>Slika 25:</b> Prikaz linkova na kojima je simuliran kvar.....	34
<b>Slika 26:</b> Analiza aktivnosti mrežne konvergencije RIP protokola .....	34
<b>Slika 27:</b> Analiza aktivnosti mrežne konvergencije EIGRP protokola.....	35
<b>Slika 28:</b> Analiza aktivnosti mrežne konvergencije OSPF protokola .....	35
<b>Slika 29:</b> Analiza zauzeća kapaciteta mreže (link između rutera 2 i 3) .....	36
<b>Slika 30:</b> Analiza propusnosti (link između rutera 2 i 3).....	38
<b>Slika 31:</b> Analiza kašnjenja (link između rutera 2 i 3).....	38
<b>Slika 32:</b> Analiza opterećenja CPU-a za R2.....	39
<b>Slika 33:</b> Analiza opterećenja CPU-a za R3.....	40

## Popis tablica

<b>Tablica 1:</b> Postavke aplikacija.....	26
<b>Tablica 2:</b> Vrijednosti RIP parametara .....	29
<b>Tablica 3:</b> Vrijednosti EIGRP parametara .....	30
<b>Tablica 4:</b> Vrijednosti OSPF parametara .....	31
<b>Tablica 5:</b> Vrijednosti duljine intervala aktivnosti mrežne konvergencije.....	41
<b>Tablica 6:</b> Vrijednosti izmjerene propusnosti .....	42
<b>Tablica 7:</b> Vrijednosti kašnjenja .....	42



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada

pod naslovom ODLUČIVANJE O IMPLEMENTACIJI PROTOKOLA ZA DINAMIČKO

USMJERAVANJE TEMELJENOJ NA TEHNIČKIM ZNAČAJKAMA PROTOKOLA

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 10.07.2018 \_\_\_\_\_

Student/ica:

*T. Čavala*  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

