

Usmjeravanje paketa u višeuslužnim mrežama temeljeno na zahtjevima kvalitete usluge

Đuksi, Tihomir

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:119:919261>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**USMJERAVANJE PAKETA U VIŠEUSLUŽNIM MREŽAMA TEMELJENO NA
ZAHTJEVIMA KVALITETE USLUGE**

**PACKET ROUTING IN MULTI-SERVICE NETWORKS BASED ON QUALITY OF
SERVICE**

Mentor: doc. dr. sc. Marko Matulin
Student: Tihomir Đuksi, 0135223362

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 8. rujna 2021.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6557

Pristupnik: **Tihomir Đuksi (0135223362)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Usmjeravanje paketa u višeuslužnim mrežama temeljeno na zahtjevima kvalitete usluge**

Opis zadatka:

Opisati osnovne značajke višeuslužnih mreža i aplikacija koje pružaju. Analizirati zahtjeve pojedinih aplikacija (usluga) temeljeno na granicama QoS parametara. Opisati metode usmjeravanja paketa i pripadajuće protokole usmjeravanja. Na proizvoljnom primjeru analizirati proces odabira optimalnog puta ovisno o granicama QoS parametara i komentirati dobivene rezultate.

Mentor:



doc. dr. sc. Marko Matulin

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

USMJERAVANJE PAKETA U VIŠEUSLUŽNIM MREŽAMA TEMELJENO NA ZAHTJEVIMA KVALITETE USLUGE

SAŽETAK

Usmjeravanje zahtjeva (paketa) kroz mrežu bitan je dio funkcioniranja mreže i razmjene informacija između korisnika. Kako bi se uspješno ostvarilo usmjeravanje koriste se metode usmjeravanja i protokoli. Primjer takve mreže može biti uredska mreža koja se sastoji od tri domene na više lokacija, a promatraju se parametri koji mogu definirati razinu kvalitete usluge.

U diplomskom radu predložena je proizvoljna mreža koja prikazuje način usmjeravanja kroz mrežu. Simuliran je stvarni prikaz kroz sekvencijalnu metodu usmjeravanja i metodu usmjeravanja iz izvorišta. Prikazani model prepoznaje više puteva kojim paketi mogu biti usmjeravani, ovisno o strategiji kojom se mreža promatra.

Analizirano je čekanje i gubitak paketa za svaki čvor posebno i na izlazu iz promatrane domene. U izračun je uvrštena analiza koja se odnosi na dio *core* mreže.

KLJUČNE RIJEČI: metode usmjeravanja; protokoli za usmjeravanje; QoS; višeuslužne mreže; protokoli; OSI model

PACKET ROUTING IN MULTI-SERVICE NETWORKS BASED ON QUALITY OF SERVICE

SUMMARY

Routing requests through the network is an essential part of the network's functioning and the exchange of information exchange between users. In order to successfully achieve routing, routing methods and protocols are used. An example of such a network can be an office network consisting of three domains in multiple locations. They are looking at parameters that can define the level of quality of service.

In the diploma thesis, an arbitrary network is proposed, which shows the way of routing through the network. The actual representation is simulated through a sequential routing method and the routing method from the source is simulated. The model presented identifies multiple paths by which packets can be routed, depending on the strategy the network is looking at.

Packet waiting and loss for each node separately and at the output of the observed domain were analyzed. The analysis that includes a part of the core network is included in the calculation.

KEYWORDS routing methods; routing protocols; QoS multi-service networks; protocols; OSI model

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	ZNAČAJKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA.....	3
2.1	Razvoj višeuslužnih mreža.....	3
2.2	Arhitektura višeuslužnih mreža	4
2.3	Korišteni protokoli u višeuslužnim mrežama	7
2.3.1	Mehanizmi za osiguranje kvalitete usluge	7
2.3.1.1	Differentiated services arhitektura.....	7
2.3.1.2	Integrated services arhitektura.....	9
2.3.1.3	Best Effort usluga.....	9
2.3.2	Protokoli aplikacijskog sloja	10
2.3.2.1	Session Initiation Protocol.....	10
2.3.2.2	Dynamic Host Configuration Protocol	12
2.3.2.3	Real-Time Transport Protocol	13
3	ZAHTJEVI APLIKACIJA.....	14
3.1	Kašnjenje	15
3.2	Kolebanje kašnjenja i <i>jitter</i>	16
3.3	Gubitak paketa	17
3.4	<i>Bit Error Rate</i>	17
4	METODE USMJERAVANJA	18
4.1	Fiksno usmjeravanje	18
4.2	Metode alternativnog usmjeravanja	19
4.2.1	Usmjeravanje temeljeno na vremenu	20
4.2.2	Usmjeravanje temeljeno na stanju.....	20
4.2.3	Usmjeravanje temeljeno na događaju	22
5	PROTOKOLI ZA USMJERAVANJE	24
5.1	<i>Transmission Control Protocol</i>	24

5.2	<i>Internet Protocol</i>	26
5.3	<i>User Datagram Protocol</i>	29
5.4	<i>Routing Information Protocol</i>	31
5.5	<i>Open Shortest Path First</i>	32
6	ODABIR PUTA OVISNO O QOS GRANICAMA POJEDINIH APLIKACIJA	34
6.1	Strategije usmjeravanja.....	34
6.2	Prikaz modela mreže za odabir puta.....	35
7	ZAKLJUČAK	44
	POPIS LITERATURE	45
	POPIS AKRONIMA I KRATICA.....	49
	POPIS STRANIH IZRAZA	51
	POPIS ILUSTRACIJA	52
	Popis slika.....	52
	Popis tablica.....	52

1 UVOD

Tema rada je usmjeravanje paketa u višeslužnim mrežama temeljeno na zahtjevima kvalitete usluge, koje će biti prikazano shemom te pratećim izračunom na pojednostavljenom primjeru.

Usmjeravanje je postupak odabira puta za slanje podataka računalnom mrežom. Način usmjeravanja utječe na brzinu prijenosa podataka koje ovisi o zahtjevima aplikacija, i ispunjenje zahtjeva ogleda se kroz parametre kvalitete usluge, koji su glavni pokazatelji zadovoljstva korisnika. Način usmjeravanja ima utjecaj na brzinu prijenosa koja utječe na zadovoljstvo korisnika.

Za ispravnu razmjenu zahtjeva ili poruka kroz mrežu potrebno je koristiti protokole koji definiraju načine postupanja na svakom sloju. Na sloju veze kod fizičkog adresiranja definirani su HDLC (engl. *High-Level Data Link Control*) i FR (engl. *Frame Relay*) protokoli. Na mrežnom sloju karakteristični su IP (engl. *Internet Protocol*) i ICMP (engl. *Internet Control Message Protocol*). Za transportni sloj karakteristični su UDP (engl. *User Datagram Protocol*) i TCP (engl. *Transmission Control Protocol*) protokoli. Na sloju sesije koriste se ASP (engl. *Application Service Provider*), SMPP (engl. *Short Message Peer-to-Peer*), SSH (engl. *Secure Shell*) protokoli. Kod mrežnih procesa vezanih za aplikaciju koriste se HTTP (engl. *Hypertext Transfer Protocol*), FTP (engl. *File Transfer Protocol*), Telnet, DNS (engl. *Domain Name System*), DHCP (engl. *Dynamic Host Configuration Protocol*) protokoli.

Diplomski rad sastoji se od sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Značajke višeslužnih mreža
3. Zahtjevi aplikacija
4. Metode usmjeravanja
5. Protokoli za usmjeravanje
6. Odabir puta ovisno o QoS granicama pojedinih aplikacija
7. Zaključak.

Drugo poglavlje definira višeslužne mreže, njihov razvoj i arhitekturu. Definirani su mehanizmi i protokoli koji se koriste za usmjeravanje i prijenos poruka kroz Internet mrežu.

Treće poglavlje, *Zahtjevi aplikacija* odnosi se na zahtjeve koje određuju aplikacije, a u svrhu pružanja zadovoljstva korisniku pruženom uslugom. Navedeni su parametri koji su mjerljive veličine, a njihove vrijednosti utječu na zadovoljstvo korisnika.

U četvrtom poglavlju definira se pojam usmjeravanja i metode usmjeravanja.

U petom poglavlju opisuju se najčešće korišteni protokoli za usmjeravanje zahtjeva (paketa) kroz mrežu od izvorišta do odredišta.

U šestom poglavlju prikazan je numerički primjer odabira prikladnog puta ovisno o zahtjevima za kvalitetom usluge. Numerički primjer temelji se na razvijenim podvorbenim modelima primjenjivim za analizu paketskih mreža poput Internet mreže.

U završnom poglavlju diplomskog rada izloženi su zaključci.

2 ZNAČAJKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA

Višeuslužna mreža (engl. *Multi Service Network*, MSN) definirana je kao mreža koja ima mogućnost pružiti više od jedne vrste usluge. Prenos vrsta usluga je neovisno o vrsti medija kojim se prenosi.

Preteča višeuslužnih mreža omogućavala je prijenos samo jedne vrste usluge u određenom trenutku, što je za rezultat imalo visoke troškove radi samog dizajniranja i izvedbe različitih mreža za prijenos govora, mreže za prijenos poruka i mreže za prijenos podataka.

Povećanjem broja korisnika, a time i zahtjeva koji su generirani u mreži dovodi do povećanja zahtjevnosti u vrsti pristupa i načinu prijenosa. Kako bi se osigurala dovoljna kvaliteta usluge za sve vrste komunikacije potrebno je osigurati pouzdan prijenos između korisnika.

Multipleksiranjem signala omogućuje se prijenos više raznovrsnih signala odjednom putem istog komunikacijskog kanala. Sve vrste multipleksiranja omogućuju uzimanje dijela signala i kombiniranje s dijelom uzorkovanog signala ostalih te prijenos takve kombinacije, [1].

2.1 Razvoj višeuslužnih mreža

Razvoj višeuslužnih mreža kroz povijest započinje objedinjavanjem više pojedinačnih usluga. Stvorena je interakcija između usluga te su integrirane u jedinstvenu vrstu usluga. Integrirane usluge uključile su:

- prijenos govora;
- prijenos podatkovnih aplikacija;
- prijenos multimedijских usluga
- i prijenos pokretnih te nepokretnih slika.

Prijenos u višeuslužnim mrežama mora teći neometano, bez obzira koji se medij za prijenos koristi. Za korisnika je osiguranje razine kvalitete usluge (engl. *Quality of Service*, QoS) bitan faktor kod prijenosa. Kod prijenosa podataka modom komutirani kanal nije bilo moguće postići prijenos bez gubitaka i zadovoljiti zahtjeve korisnika za

QoS. Komutacijom paketa zadovoljavaju se zahtjevi korisnika koji postaju sve konkretniji, pa se javlja potreba za dostupnošću usluge u svakom trenutku.

Početak višeuslužnih mreža bio je asinkroni mod prijenosa ATM (engl. *Asynchronous Transfer Mode*) i FR (engl. *Frame Relay*) mreža, te metodom zamjene paketa opisuje podatkovne veze digitalnih telekomunikacijskih kanala. Novije generacije višeuslužnih mreža kombiniraju *Ethernet*, *Layer 3 IP* (engl. *Internet Protocol*¹), MPLS (engl. *Multiprotocol Label Switching*) i VPN (engl. *Virtual Private Networks*). MPLS je mehanizam koji koristi oznake za usmjeravanje i prijenos podatkovnog prometa, a u OSI modelu (engl. *Open System Interconnection Basic Reference Model*) nalazi se između podatkovnog i mrežnog sloja.

Kod postavljanja nove mreže definirani su novi standardi i protokoli koji su odredili kojim smjerom će se dalje razvijati višeuslužne mreže. Kao standard nametnula se TCP/IP² tehnologija, koja omogućuje komunikaciju između bilo koja dva računala, [1].

2.2 Arhitektura višeuslužnih mreža

Arhitektura višeuslužnih mreža podijeljena je u tri razine. Razine su međusobno odvojene, a zbog vlastite kompleksnosti promatraju se odvojeno. Svrha je ostvariti komunikaciju od pošiljatelja do primatelja bez gubitaka i/ili promjene značenja unutar informacije.

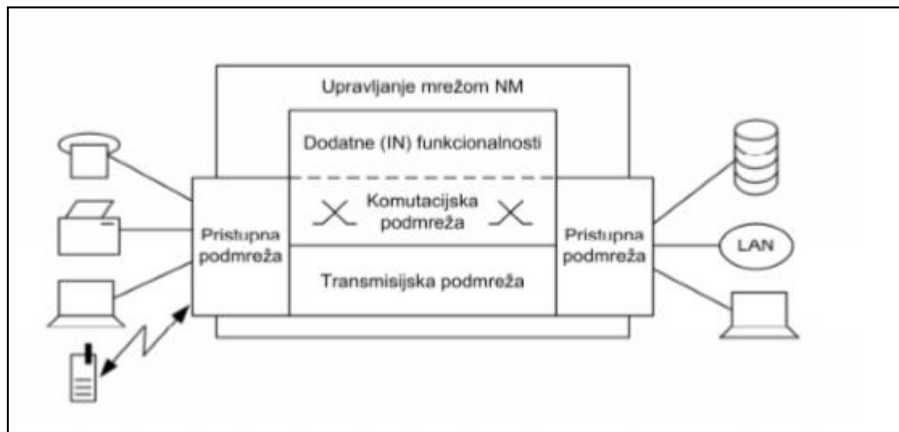
Stoga se podjela sastoji od komutacijskih sustava, tj. čvorova koji unutar sustava usmjeravaju promet prema određenim pravilima, uz upotrebu protokola. Spojni vodovi čine transmisijsku podmrežu koji povezuju čvorišta, a mogu biti od različitih vrsta medija. Najčešći medij je bakrena parica, a koriste se još radiovalovi i svjetlovodi, koji sve više zamjenjuju bakrene vodove. Korisnici su spojeni na lokalnu pristupnu centralu i ta razina se promatra kao pristupna podmreža.

¹ Internet Protocol je standardni internetski protokol, čije su osnovne funkcije adresiranje i usmjeravanje, tj. prijenos datagrama kroz mrežu, [2].

² TCP/IP- *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*

ATM mreže konvergirale su na višeprotokolno komutiranje labela MPLS, mehanizmom za prijenos i usmjeravanje podatkovnog prometa. U početku ATM nije bio dizajniran za IP protokol, nego kao višenamjenski.

Za shematski prikaz višeslužnih mreža najčešće se koristi poopćeni model telekomunikacijske mreže. Navedeni model prikazan je slikom 1.



Slika 1. Poopćeni model telekomunikacijske mreže, [1]

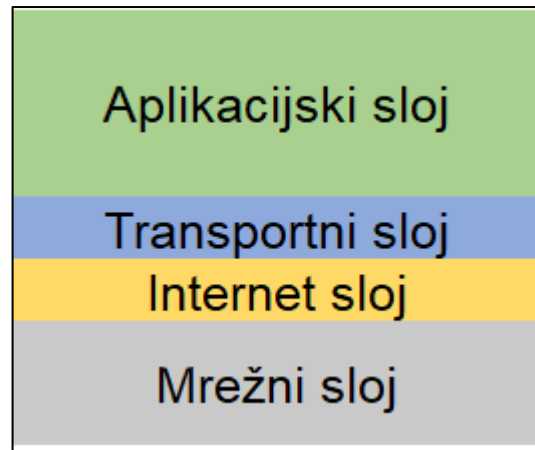
Poopćeni model nastao je iz OSI referentnog modela, koji opisuje arhitekturu mreže i odnose unutar mreže, i stručnjacima služi za razvoj mreže te protokola.

OSI referentni model podijeljen je u sedam slojeva, kako je prikazano slikom 2(a). Mrežne funkcije obavljaju fizički sloj, sloj veze, mrežni sloj i transportni sloj čija funkcija je povezivanje dvaju sustava. Aplikacijski, prezentacijski i sloj sesije orijentirani su na aplikacije putem kojih korisnik ostvaruje interakciju aplikacijskih procesa, [1].

Slojevi su definirani svojom namjenom i funkcijom za uspostavljanje računalne komunikacije. Kroz slojeve je moguće pratiti prolaz podataka od njihovog početka do odredišta i definirati kroz koje hardverske i softverske razine komunikacija prolazi.



(a) OSI model, [1]

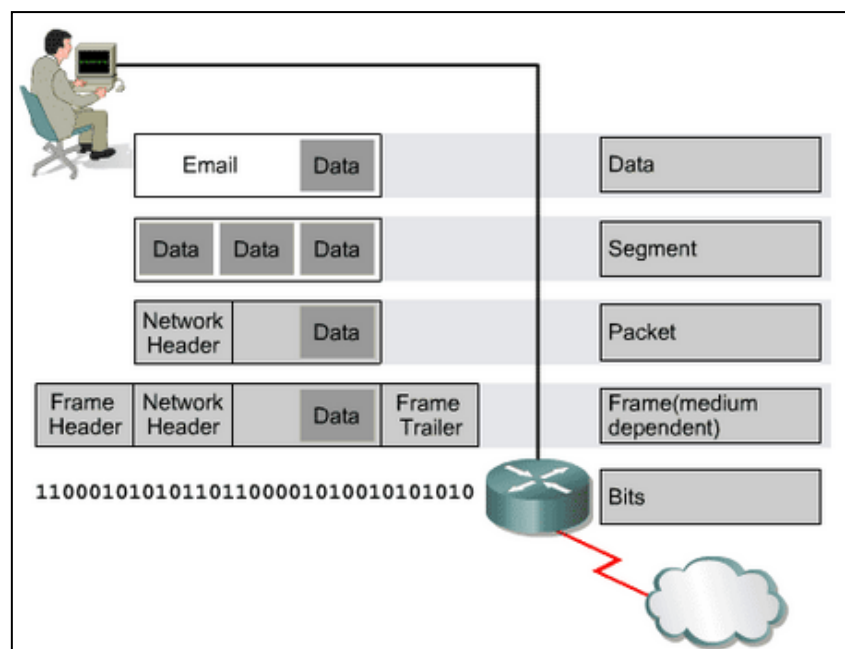


(b) TCP/IP protokolni složaj, [3]

Slika 2. Slojevite arhitekture

Kao osnovni model za razvoj mrežnih protokola koristi se OSI referentni model. Određena pravila prema kojima se prenose podaci preko komunikacijskih kanala nazivaju se protokol. Za opis internetske arhitekture koristi se TCP/IP složaj.

TCP/IP složaj slijedi načelo slojevitosti te se razlikuje prema broju slojeva od OSI modela i funkcijama koje slojevi sadrže. TCP/IP složaj ima četiri sloja: sloj podatkovne veze, mrežni sloj, transportni sloj i aplikacijski sloj, kako je prikazano slikom 2(b), [3].



Slika 3. Enkapsulacija podataka, [5]

Enkapsulacija podataka radi se u transportnom sloju, gdje podatci tako postaju segment. Na segment se dodaje zaglavlje u mrežnom sloju te takav skup čini paket. Novo zaglavlje dodaje se u sloju veze podataka i postaje okvir. Okvir je pogodan za prijenos putem fizičkog sloja. Prijenosni medij određuje oblik u koji će podatci biti pretvoreni, kako bi se mogli prenijeti kroz mrežu. Enkapsulacija je prikazana slikom 3. Na odredištu se događa suprotan proces od opisanog, s time da se u svakom sloju uklanja zaglavlje, [6].

2.3 Korišteni protokoli u višeuslužnim mrežama

Mrežni protokoli predstavljaju skup pravila koji služe uspješnoj komunikaciji računala unutar mreže. Oni određuju pravila uspostave veze, prijenosa podataka i načina prekidanja veze. Brinu o sigurnom pristizanju podataka na odredište, [7].

U ovom radu bit će opisani određeni protokoli, korišteni u Internet mreži i aplikacijski protokoli. Opisani protokoli samo su dio opsega protokola koji se koriste na svim razinama slojeva. Na svakom sloju TCP/IP složaja promjenjuju se odgovarajući protokoli, koje koristi ovisno o njihovoj namjeni.

2.3.1 Mehanizmi za osiguranje kvalitete usluge

Internet protokoli se koriste u Internet mreži. Njima se regulira na koji način će se obavljati prijenos unutar Internet mreže. Kako bi se osigurala kvaliteta usluge dodatno se koriste mehanizmi.

2.3.1.1 *Differentiated services* arhitektura

Differentiated services (DiffServ) mehanizmi koriste se kako bi se osigurala kvaliteta usluge za korisnike mreže. Zahtjeva se da područje pokrivanja ima određeni nadzor upravljanja, određenu tehnologiju i kapacitet prijenosa. U *DiffServ* arhitekturi nalaze se krajnji elementi i *core* elementi te su kao takvi specificirani u *DiffServ* standardima, te za svoje djelovanje koriste protokole.

Temeljne komponente za *DiffServ* arhitekturu u usmjernicima *core* mreže su:

- klasifikacija prometa;

- prilagođavanje prometa uvjetima;
- upravljanje redovima i
- tehnika raspoređivanja.

Granični čvorovi izvode prilagođavanje prometa uvjetima upotrebljavajući mjerenje, oblikovanje i funkcije upravljanja, a sve u svrhu prilagođavanja prometa pravilima ovisno o uvjetima TCA (engl. *Traffic Conditioning Agreement*). TCA određuje akcije koje će se dogoditi u klasifikatoru i prilagođivaču. TCA je obično izveden iz SLA ugovora (engl. *Service Level Agreement*³).

Upravljanje redovima ili međuspremnicima odnosi se na ispuštanje paketa u slučaju zagušenja i definirano je protokolima za usmjeravanje, dok se za raspoređivanje posluživanja paketa na link smatra poretkom posluživanja. Najjednostavnija metoda raspoređivanja paketa na posluživanje je FIFO (engl. *First In First Out*)⁴.

First In First Out je metoda posluživanja koja se temelji na politici upravljanja redovima po principu da se najprije posluži onaj koji je prvi došao u red posluživanja, a zatim onaj koji je drugi došao, itd. Osim navedene metode posluživanja, koriste se još: LIFO i RR te posluživanje s prioritetom. LIFO (engl. *Last In First Out*)⁵ metoda posluživanja je metoda u posluživanja kada se najprije poslužuje onaj koji je zadnji došao u red posluživanja. *Round Robin* (RR) je metoda posluživanja u kojoj se svaki proces smatra jednakim te svaki proces poslužuje jednakim periodom vremena. Kod metode posluživanja s prioritetom najprije se poslužuju redovi s većim prioritetom. [9]

Nedostatci *DiffServ* metode su dijelovi koji definiraju zahtjeve za kvalitetom usluge koji nisu dovoljno precizno definirani. Isto tako nedostaje rezervacija resursa, zbog čega se ne može u potpunosti garantirati traženi *end-to-end* QoS, [2].

³ SLA ugovori specificiraju obveze koje predstavljaju dogovorene razine usluga između dobavljača servisa i korisnika. SLA obveze mogu se mjeriti na kvalitativan i kvantitativan način. SLA obveze se mogu pridružiti s jednom ili više eskalacija koje specificiraju akcije koje su potrebne ako obveza nije ispunjena, [8].

⁴ Osim pod nazivom FIFO, navedena metoda posluživanja često se može naći i pod nazivom akronimom FCFS, što znači *First Come, First Served*.

⁵ Osim pod nazivom LIFO, navedena metoda posluživanja često se može naći i pod nazivom akronimom LCFS, što znači *Last Come, First Served*.

2.3.1.2 *Integrated services arhitektura*

Integrated services (IntServ) predstavlja integrirane usluge koje se odnose na stvarno-vremenske usluge. Njihova svrha je omogućavanje funkcionalnosti usluga.

Kako bi se osigurala konekcija, potrebno je definirati kapacitet i rutu. Kada kontrola pristupa omogući toku pristup u mrežu bit će mu dodijeljen zahtijevani kapacitet i osigurat će mu se vrijednosti parametra kvalitete. *IntServ* omogućava način pružanja potpune kvalitete usluge koju zahtijeva aplikacija u stvarno vremenu eksplicitnim upravljanjem mrežnim resursima za pružanje QoS određenim tokovima korisničkih paketa, [2].

IntServ koristi *Resource Reservation Protocol (RSVP)* kako bi naznačio QoS potrebe prometa aplikacije kroz mrežu end-to-end⁶ metodom. Nakon što je uspostavljena rezervacija pomoću RSVP, svaki usmjerivač klasificira svaki dolazni IP paket kako bi odredio kojem toku QoS pripada. Kada svaki mrežni uređaj na putu može rezervirati potrebnu propusnost, početna aplikacija može započeti prijenos.

Osim signalizacije s kraja na kraj, *IntServ* zahtijeva i neke funkcije na usmjernicima (ruterima) i preklopticima (*switchovima*). Kontrola ulaza može utvrđivati dali se novom protoku može dodijeliti tražena razina usluge bez utjecaja na postojeće rezervacije. Klasifikacijom prometa može se prepoznati pakete koji trebaju određene razine QoS usluga. Određivanje reda čekanja i raspoređivanja (engl. *scheduling*) određuje se prema QoS zahtjevima koji su odobreni, [10].

2.3.1.3 *Best Effort* usluga

Best Effort Service je usluga najbolje namjene. Odnosi se na vrstu usluge gdje mreža ne razlikuje vrstu aplikacije koja koristi mrežu. Kod takvog načina usluge IP mreža tretira sve pakete na isti način. Mreža se obvezuje da će dostaviti svaki paket što je brže moguće, no ne preuzima obavezu tretirati bilo koju klasu paketa preferirano prema bilo kojoj drugoj klasi.

⁶ *End-to-end* metoda je metoda isporuke s kraja na kraj u kojoj se osigurava enkripcija podataka i osigurava konačna isporuka.

Best Effort način posluživanja koristi se za aplikacije koje zahtjevaju niži razinu QoS, odnosno vremenske zahtjeve, kao što su e-mail, prijenos datoteka i web pregled. Aplikacije osjetljive na performanse mreže kao što su video na zahtjev (engl. *Video on Demand*, VoD) i Internet telefonija (engl. *Voice over Internet Protocol*, VoIP⁷) ne prihvaćaju *Best Effort* uslugu. Njihovi zahtjevi za kvalitetom usluge odnose se na isporuku stvarnovremenske usluge i usluge osjetljive na performanse mreže, [11].

2.3.2 Protokoli aplikacijskog sloja

Aplikacije su poslužene na razini aplikacijskog sloja, a njihov zahtjev za uslugom upućuje se na prezentacijski sloj. Aplikacijski sloj sadrži upravljačke funkcije i mehanizme za izvršavanje aplikacija i njihovo korištenje. Namijenjen je za pružanje usluge aplikacijama koje pokreće korisnik. Kod izvršavanja prijenosa datoteka između dva računala koristi se FTP protokol, odnosno *File Transfer Protocol*, [12].

2.3.2.1 *Session Initiation Protocol*

Session Initiation Protocol (SIP) je signalni protokol koji se koristi za uspostavu, modifikaciju i raskidanje višemedijskih sesija u mrežama koje se baziraju na Internet protokolu, [2].

Izmjene i završavanje sesije odvija se u stvarnom vremenu za aplikacije koje uključuju internetske telefonske pozive, video konferencije i druge oblike objedinjene komunikacije, razmjenu poruka i drugih aplikacija između dvije ili više točaka u IP mrežama. Razvijen je u svrhu podrške mobilnosti, interoperabilnosti i multimedijskog pristupa. Omogućava napredne telefonske usluga putem Interneta i drugih IP mreža, [13].

SIP protokol se oslanja na prednosti postojećih protokola u mreži kao što su RTP (engl. *Real-time Transport Protocol*) i RTCP (engl. *RTP Control Protocol*), koji će biti opisani u nastavku ovog diplomskog rada, te MGCP (engl. *Media Gateway Control*

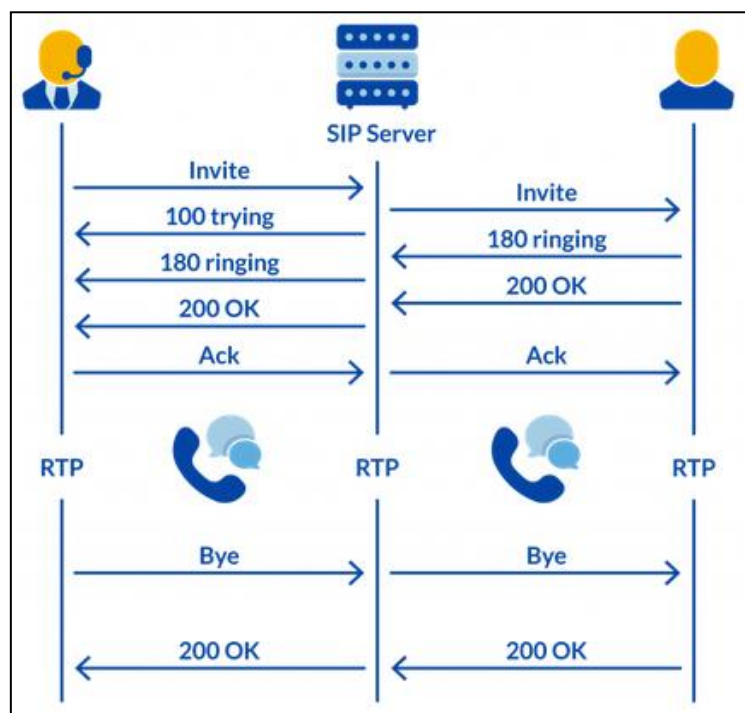
⁷ VoIP, odnosno *Voice over Internet Protocol* odnosi se na prijenos govora u stvarnom vremenu, kroz Internet mrežu.

Protocol) protokolu⁸. SIP poziv pri stvaranju veze između korisnika u sebi uključuje opis vrste veze što omogućuje dogovor korisnika o vrsti korištenog medija (slika, zvuk, vrsta slike ili zvuka).

SIP komunikacijski protokol određuje pet atributa pri uspostavljanju i prekidu multimedijjskih sesija:

- korisničko mjesto;
- dostupnost korisnika;
- korisničke mogućnosti;
- postavljanje sjednice i
- upravljanje sesijama.

Također, SIP protokol, određuje krajnji sustav koji će se koristiti za sesiju, komunikacijske medije i parametre medija te je li pozvana strana pristala sudjelovati u komunikaciji. Kada se to osigura, SIP uspostavlja parametre poziva na bilo kojem kraju komunikacije, također upravljajući prijenosom i prekidom poziva.



Slika 4. Prikaz SIP poziva, [15]

⁸ MGCP (engl. *Media Gateway Control Protocol*) je protokol koji definira komunikaciju između kontrolnih pristupnika i telefonskih pristupnika. Konekcije se uspostavljaju na svakoj krajnjoj točki koja će biti uključena u poziv. Nakon lociranja krajnjih točaka na pristupnicima, obavlja se upravljanje konekcije kroz točno definirane korake do uspostavljanja komunikacije, [14].

U VoIP tehnologiji SIP poziv se odvija između dva uređaja, poput računala ili telefona u aplikacijskom sloju, kako je prikazano slikom 4. SIP surađuje s drugim protokolima kao što su SRTP i RTP. Za pokretanje poziva dijalog započinje porukom *Invite*. Potvrda drugog korisnika da je dobio zahtjev označava se slanjem poruke sadržaja *Ack*. Izmjena sesije bez promjene stanja dijaloga označava se porukom *Update*. *Cancel* označava prestanak čekanja zahtjeva. Kada je poziv ili sesija završen šalje se poruka sa sadržajem *Bye*.

2.3.2.2 *Dynamic Host Configuration Protocol*

DHCP (engl. *Dynamic Host Configuration Protocol*) je mrežni protokol aplikacijskog sloja. Koristi se za dodjeljivanje IP adrese koja vrijedi određeni vremenski period, nakon kojeg uređaj mora ponovno zatražiti IP adresu. Klijent šalje upit poslužitelju, koji osim IP adrese dodjeljuje mrežnu masku⁹, adresu *default gatewaya*¹⁰, adresu WINS¹¹ poslužitelja, domenu i adresu DNS¹² poslužitelja. Postoje tri načina dodjele IP adrese: automatska dodjela, ručna podjela i dinamička podjela. U slučaju automatske dodjele DHCP trajno dodjeljuje IP adresu klijentu.

Kod ručne dodjele adresu ručno dodjeljuje administrator. Dinamička podjela IP adresa podrazumijeva da DHCP protokol iznajmljuje adresu na određeni vremenski rok.

DHCP protokol ima četiri faze:

- otkrivanje poslužitelja (engl. *server discovery*);
- ponudu najma IP adrese (engl. *IP lease offer*);
- traženje najma IP adrese (engl. *IP lease request*) i

⁹ Mrežna maska- *Subnet* maska je broj koji pokazuje gdje se unutar IP adrese nalazi granica između mrežnog dijela i *Host ID*-a. Bitovi mreže imaju vrijednost 1, a *host* bitovi 0.

¹⁰ *Default gateway* je pristupna točka koju umreženo računalo koristi za slanje podataka na računalo u drugoj mreži ili Internetu.

¹¹ WINS - *Windows Internet Name Service* omogućava klijentima mapiranje imena sustava na njihove stvarne TCP/IP adrese.

¹² DNS - *Domain Name System* je servis koji služi za prevođenje alfa-numeričkih znakova u IP adresu računala i obrnuto.

- potvrdu najma IP adrese (engl. *IP lease acknowledgement*).

U svakoj fazi klijent ili šalje poruku poslužitelju ili prima poruku od poslužitelja, pri čemu su sve poruke istog formata.

Upotreba DHCP servera osobito je korisna na velikim mrežama gdje sustav vodi računa o tome koja je adresa već dodijeljena jer svako računalo mora imati jedinstvenu IP adresu. Većina današnjih operativnih sustava podržava DHCP poslužitelj, [16].

2.3.2.3 *Real-Time Transport Protocol*

Real-Time Transport Protocol (RTP) je transportni protokol za prijenos informacija u stvarnom vremenu s kraja na kraj, koristeći skupno ili pojedinačno odašiljanje na mrežnom sloju. IP telefonija koristi real-time protokol. Za slanje RTP protokolom, koristi se podatkovni i kontrolni dio. Kontrolni dio sadrži vremensku sinkronizaciju te identifikaciju sadržaja koji se prenosi kako bi se osigurala sigurnost i detekcija gubitaka u prijenosu, [17].

RTP u stvarnom vremenu može kodirati multimedijske tokove podataka za audio i video sadržaj, dijeli ih u pakete i prenosi putem IP mreže. Na transportnom sloju koristi beskonekcijski UDP protokol(engl. *User Datagram Protocol*). RTP omogućuje razmjenu podataka u unicast i multicast komunikaciji.

Kako bi se mogao koristiti protokol i da se zadovolje potrebni parametri kvalitete usluge tijekom prijenosa, RTP ostvaruje suradnju s RTCP protokolom, *Real Time Control Protocol*, protokolom za kontrolu stvarnog vremena. RTCP koristi povratne informacije od sudionika koji prikupljaju i javljaju na stranu odašiljanja kakva je kvaliteta usluge, te moguća zagušenja u mreži, [18].

3 ZAHTJEVI APLIKACIJA

Zahtjevi aplikacija i njihovo ispunjenje očituje se kroz QoS parametre, odnosno zadovoljstvo korisnika pruženom uslugom. Korisnik je zainteresiran za razinu kvalitete usluge koju dobiva, a sam način pružanja usluge nije u tolikoj mjeri predmet interesa.

QoS se odnosi na sposobnost telekomunikacijskog sustava da pruži bolju uslugu za odabrani promet preko heterogenih mreža (tehnologija ili domena). Primarni cilj QoS-a je pružanje prioriteta, uključujući i povećani *bandwidth*, kontroliranje *jittera* i latencije¹³. Latencija se može pojaviti kao zahtjev nekih stvarnovremenskih i interaktivnih vrsta prometa. Važna je za osiguravanje davanja prioriteta jednom ili više tokova na način koji ne uzrokuje na uspjeh drugih tokova. QoS predstavlja određenu razinu kvalitete usluge, a odnosi se na brzinu prijenosa podataka, vrijeme čekanja, ispravljanje zaprimljenih podataka, a pogrešno su preneseni. Također odnosi se na parametar koji označava koliko će podataka vjerojatno biti izgubljeno tijekom prijenosa. QoS zahtjevi za multimedijски promet pokriveni su različitim standardizacijskim skupinama, kao što su ITU¹⁴, ETSI¹⁵ ili 3GPP¹⁶.

Podatkovne aplikacije zahtijevaju točnost pristizanja podataka korisniku na odredište. Bitno je da podatci stignu do korisnika, pri čemu usluga prijenosa podataka ima veću toleranciju na kašnjenje i propusnost paketa. Za opisivanje ponašanja aplikacija najčešće se koriste parametri koji definiraju vrijeme između konekcija, trajanje konekcije i međudolazno vrijeme između paketa. Podatkovne usluge koriste se kroz elektroničku poštu, glasovne komunikacije, prijenos podataka, pretraživanje informacija, internet bankarstvo, itd.

Video usluge zahtijevaju posebnu razinu usluge koja treba veliku propusnost i malo kašnjenje ako se radi o stvarnovremenskim aplikacijama. Razlikuje se prijenos videa strujanjem (engl. *Video Streaming*¹⁷), video na zahtjev i videotelefoniju te videokonferenciju.

¹³ Latencija je vrijeme čekanja koje uključuje vrijeme kada je zahtjev za podacima poslan i sve dok podatak ne stigne. [20]

¹⁴ Međunarodna telekomunikacijska unija, engl. *International Telecommunication Union*.

¹⁵ Europski institut za telekomunikacijske standarde, engl. *European Telecommunications Standards Institute*.

¹⁶ Projekt partnerstva treće generacije, engl. *3rd Generation Partnership Project*.

¹⁷ Kod *video streaminga* isporuka video sadržaja se vrši putem Internet mreže, tako što primatelj započne s gledanjem ili slušanjem sadržaja, bez prethodnog čekanja kako bi se preuzimanje završilo do kraja. Zahtijeva kontinuirani protok podataka kroz mrežu.

Prijenos videa strujanjem označava prijenos koji je odmah dostupan korisniku bez odgode i spremanja, [17]. Razlikuje se video strujanje u realnom vremenu (engl. *real time*) i ono koje nije u realnom vremenu (engl. *non-real time*). Kod stvarno vremenskog prijenosa videa, on se nakon snimanja komprimira i šalje u stvarnom vremenu. Kod streamanja koje ne zahtijeva stvarnovremenski prijenos, snimljeni sadržaj se komprimira i sprema na poslužitelj.

Video na zahtjev omogućuje korisnicima biranje sadržaja iz arhive sadržaja, s isporukom informacija od točke do točke ili od jedne točke prema više točaka.

Interaktivne usluge koriste mrežu za interakciju s drugim korisnicima ili sustavima. Interaktivne igre ubrajaju se među usluge koje zahtijevaju malo kašnjenje i mali postotak gubitka paketa. Entitet na odredištu očekuje poruku odgovora u određenom vremenskom razdoblju, a za brzinu odgovora zadužen je parametar RTD (engl. *Round Trip Delay time*¹⁸). Bitna karakteristika za prijenos sadržaja paketa je niska razina BER (engl. *Bit Error Rate*).

Svaka vrsta igara specifična je prema svojim zahtjevima u smislu širine pojasa i kašnjenja. Bitna razlika u pružanju usluge očituje se između *real-time* i *turne-based* igara. Mnoge interaktivne igre pokušavaju izmjenjivati velike količine podataka, a imaju zahtjev malog kašnjenja i velike propusnosti radi uspješnog funkcioniranja igre.

Zahtjevi koji se odnose na prijenos podataka kroz mrežu za mobilne igre određeni su posebnim uvjetima i tolerancijom na kašnjenje. Ako se prijenos odnosi na prijenos slike kao informacije potrebno je definirati dovoljnu propusnost, ali se tolerira kašnjenje. Kod prijenosa sadržaja strimanjem, dolazi do zahtjeva za većom propusnosti, manja je tolerancija na kašnjenje i vrlo mala je varijacija kašnjenja, [21].

3.1 Kašnjenje

Kašnjenje ili latencija (engl. *delay*) u telekomunikacijskim sustavima definira se kao vrijeme koje je potrebno da se paket prenese kroz telekomunikacijsku mrežu, odnosno od izvorišta do odredišta. Usporedno s drugim modovima prometa, kašnjenje

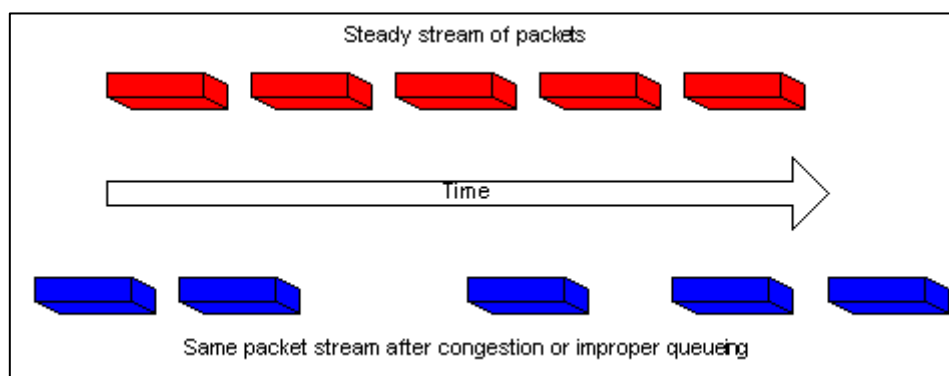
¹⁸ RTD - *Round Trip Delay Time*- propagacijsko kašnjenje je vrijeme potrebno električnom signalu da savlada duljinu vodiča. Brzina ovih signala uvijek je manja od brzine svjetlosti. Propagacijsko kašnjenje uvijek postoji, ali do izražaja najviše dolazi kod velikih udaljenosti, [2].

se zove vrijeme putovanja ili vrijeme prijevoza. Na kašnjenje paketa kroz telekomunikacijsku mrežu, utječu brojni čimbenici, [21]:

- kašnjenje zbog kodiranja i dekodiranja,
- kašnjenje zbog komprimiranja i dekomprimiranja,
- kašnjenje zbog paketizacije i depaketizacije,
- kašnjenje zbog prijenosa na linku,
- kašnjenje zbog propagacije,
- kašnjenje zbog usmjeravanja u čvorovima i
- kašnjenje zbog čekanja u međuspremnicima usmjerivača.

3.2 Kolebanje kašnjenja i *jitter*

Kolebanje kašnjenja ili *jitter* se definira kao razlika u kašnjenju između dvaju susjednih paketa iste sesije. Izvorište šalje pakete u kontinuiranim sesijama u jednakim nastavcima. Međutim, zbog zagušenja unutar telekomunikacijske mreže, razmaci između paketa tijekom puta od izvorišta prema odredištu počinju varirati, umjesto da budu konstantni, odnosno jednaki, [22]. Kako bi se lakše razumio pojam *jittera*, grafički je prikazan slikom 5.



Slika 5. Grafički prikaz *jittera*, [22]

Na slici 5. crvenom bojom su prikazani paketi koji su poslani s izvorišta, gdje se vidi kako su razmaci između svakog paketa jednaki, odnosno može se zaključiti kako se paketi iz izvorišta šalju u jednakim razmacima. Na istoj slici, plavom bojom su

prikazani isti paketi između kojih su se pojavili neregularni razmaci tijekom transmisije kroz mrežu.

3.3 Gubitak paketa

Do gubitka paketa unutar mreže dolazi kada uređaj unutar mreže, zbog ograničenja nastalih dizajnom, ne može zaprimiti novi paket i mora ga odbaciti. Kod podatkovnog prometa korisnik ne primjećuje gubitak paketa, jer dolazi do retransmisije, dok kod govornog prometa retransmisija nema smisla i korisniku se može gubitak paketa nadomjestiti jednim od sljedeća četiri načina, [2]:

- na mjesto izgubljenih paketa se ubacuje tišina ili šum,
- ponavlja se zadnji paket govora koji je stigao na odredište,
- korištenje tehnika sinteze, ponavljanja i interpolacije govora, ili
- zamjenom perioda tišine koji bi trajao jednako dugo koliko i paket koji je izgubljen.

3.4 Bit Error Rate

Bit Error Rate je parametar koji označava koliko je tijekom transmisije pogrešno preneseno bitova u odnosu na ukupan broj prenesenih bitova, [23]. Odnosno, predstavlja omjer između neispravno i ukupno prenesenih bitova tijekom transmisije. Računa se po formuli (1):

$$\text{BER} = \frac{\text{broj neispravno prenesenih bitova}}{\text{ukupan broj prenesenih bitova}} \quad (1)$$

Bit Error Rate je bezdimenzionalni. Uvijek je manji od 1.

4 METODE USMJERAVANJA

Usmjeravanje (engl. *routing*) je odabir puta kojim će se podatci slati. Odabir rute moguće odrediti ručno ili pomoću već poznatih ruta. Postavljena ruta biti će pohranjena u tablicu usmjeravanja, i po potrebi iskorištena za uporabu sljedećeg usmjeravanja.

Za usmjeravanje se koriste algoritmi usmjeravanja koji prilikom uspostave rute prenose podatke koji su podložni usmjeravanju. Podatci dobiveni pri uspostavi rutiranja pohranjuju se u tablicu usmjeravanja, te tako formiraju topologiju mreže i stvaraju mogućnost odabira rute za prosljeđivanje podataka. Različite karakteristike jednoznačno određuju algoritam za određivanje rute ovisno o zadanim parametrima.

Usmjeravanjem se određuje način prosljeđivanja (eng. *forwarding*) logički adresiranih paketa od izvorišne mreže preko posrednih čvorova do krajnjeg odredišta. Usmjerivači (eng. *routers*) su uređaji koji obavljaju funkciju usmjeravanja prema tablicama usmjeravanja. Tablice usmjeravanja pohranjene su u memoriji usmjerivača, a njihovo stvaranje i održavanje potreban je odgovarajući postupak.

4.1 Fiksno usmjeravanje

Fiksno usmjeravanje odnosi se na mrežne usluge koje pruža usmjerivač. Ove usluge koriste usmjerivači kako bi ostvarili mrežne veze i osigurali puteve podataka za brz i pouzdan prijenos.

Fiksno usmjeravanje je statički mehanizam koji nije povezan s prijenosom u stvarnom vremenu te je uobičajeno da se koristi najmanje jedna statička ruta u tablici usmjeravanja prilikom konfiguracije usmjerivača. Statička putanja sastoji se od mreže adresa i maske podmreže udaljene mreže, IP adrese sljedećeg usmjerivača u skoku i izlaznog sučelja. Kod fiksnog usmjeravanja postoje tri strategije usmjeravanja: određivanje najboljeg puta, preplavlivanje i proizvoljno usmjeravanje.

Kod odabira najboljeg puta važni parametri na osnovu kojih se određuje put su broj skokova, udaljenost i srednje kašnjenje. Određivanje udaljenosti do sljedećeg susjednog čvora određuje se Dijkstra algoritmom, te se ta metoda koristi sve do

odredišta. Najmanja udaljenost odabire se za stalnu vezu, te nakon završetka procesa odabira puta paket putuje najkraćom rutom.

Kod proizvoljnog usmjeravanja, odabire se jedna ruta na koju usmjerivač šalje pakete. Izlazni link se odabire proizvoljno izostavljajući dolazni link kojim je paket stigao. Za slanje paketa nije potrebno koristiti informaciju o mreži. S obzirom na to da se ruta bira slučajnim odabirom stvarna ruta sigurno neće biti najjeftinija ruta, niti ruta s minimalnim brojem skokova. Zbog toga mreža mora podržati nešto veći intenzitet prometa od optimalnog, ali sigurno ne tako intenzivan kao kod tehnike plavljenja. Ako se ustanovi da je vjerojatnost jednaka za više ruta, izlaznu rutu odabire usmjerivač prema Round Robin tehnici.

Za odabir puta strategijom preplavlivanja svaki pristigli paket u usmjerivač šalje se na sve linije osim na onu po kojoj je stigao, no takav postupak generira veliku količinu podataka koju je potrebno izbjeći. Veliku količinu podataka moguće je izbjeći postavljanjem brijacha skokova u paket. Svaki skok dekrementira brojač, te dolaskom na nulu, paket se odbacuje, [25].

4.2 Metode alternativnog usmjeravanja

Usmjeravanje kroz mrežu ima mogućnost više različitih puteva u svrhu umjeravanja entiteta od izvorišta prema odredištu. Postoje primarni i alternativni putevi za prijenos entiteta kroz mrežu do odredišta.

Prvi put koji se izabere postaje primarni put, dok su ostali alternativni putevi. Za rutiranje alternativnih puteva koriste se tablice rutiranja u kojoj svaki element prikazuje uređeni skup oznaka čvorova. U MPLS mreži usmjeravanje se odvija prema tablici, a moguće ga je izvesti prema dvije strategije alternativnog usmjeravanja: usmjeravanje uz upravljanje s izvorišnog čvora i upravljanje s izvorišnog čvora uz prenošenje.

Kod usmjeravanja uz upravljanje s izvorišnog čvora izbor odlazne veze moguć je samo na izvornom čvoru, a naziva se još i eksplicitno usmjeravanje. Kod upravljanja s izvorišta uz prenošenje izbor mogućnosti prenosi se na neke od susjednih čvorova koji tada imaju i mogućnost odlučivanja kao izvorišni čvor, naziva se još i *hop-by-hop* usmjeravanje.

Metode konekcijskog usmjeravanja upotrebljavaju se za uspostavljanje putova nosive usluge (engl. *bearer path*) za određene zahtjeve za uslugom ili tokove sesija, a uključuju metode:

- fiksnog usmjeravanja (engl. *Fixed Routing*, FR);
- usmjeravanje temeljeno na vremenu (engl. *Time Dependent Routing*, TDR);
- usmjeravanje temeljeno na stanju u mreži (engl. *State Dependent Routing*, SDR) i
- usmjeravanje temeljeno na događaju u mreži (engl. *Event Dependent Routing*, EDR).

4.2.1 Usmjeravanje temeljeno na vremenu

Usmjeravanje temeljeno na vremenu odnosi se na rutiranje prometa prema tablicama usmjeravanja koje se periodički mijenjaju u nekom točno određenom trenutku dana ili tjedna. Tablice usmjeravanja unaprijed se planiraju (*off-line*) i definiraju te konzistentno implementiraju u nekom vremenskom periodu. TDR tablice usmjeravanja definiraju se na temelju varijacija prometnog opterećenja u mreži tijekom vremena, primjerice, na temelju mjerenja prometnog opterećenja u satu. Više TDR vremenskih perioda podjeli se u kontinuirane intervale usmjeravanja tako da se napravi presjek prometnog opterećenja za svaki sat radnog dana i vikenda. Uobičajeno je da se TDR tablice usmjeravanja usklađuju tako što se uzima u obzir činjenica da glavni prometni sat nije slučajni događaj, [26].

4.2.2 Usmjeravanje temeljeno na stanju

Usmjeravanje temeljeno na stanju prilagodljiva je shema usmjeravanja ovisno o trenutnom stanju u mreži. SDR se razlikuje od ostalih usmjeravanja, koja su vremenski temeljena i ona koja su temeljena na događaju, razlikuje se od istih po prilagodljivosti usmjeravanja. Odluka o usmjeravanju za svaki poziv temelji se posebno na vjerojatnosti blokiranja budućeg poziva kao rezultat posebne raspoloživosti pristiglog poziva, [27].

Kod metoda usmjeravanja temeljenih na stanju, obično se upotrebljavaju za relativno kratke vremenske periode, pravila u tablicama usmjeravanja su implementirana kako bi se odredio najbolji put ovisno o promjenjivim stanjima mreže. Informacije o stanju mreže mogu biti prikupljene centralizirano, npr. od središnjeg procesora za QoS-usmjeravanje, ili distribuirano od mrežnih čvorova. Razmjena informacija o stanju mreže može biti periodička ili na zahtjev.

SDR metode temelje se na odabiru najboljeg trenutno dostupnog puta, koji se određuje na temelju informacija prikupljenih od mreže. Primjerice, između nekoliko različitih putova, izračunom neiskorištenih kapaciteta, bit će odabran onaj koji ima najviše neiskorištenog kapaciteta. Različite relativne vrijednosti zauzeća linka mogu biti upotrijebljene kako bi se odredila stanja opterećenosti linka, poput stanja male opterećenosti, velike opterećenosti ili stanja nedostupnog kapaciteta (engl. *Bandwidth Not Available*, BNA).

Općenito, na temelju različitih parametara poput stanja prometnog opterećenja ili stanja zagušenja linkova u mreži, SDR metode računaju trošak upotrebe puta za svaki zahtjev za konekcijom. Tablice usmjeravanja kod SDR načina usmjeravanja formiraju se on-line, u stvarnom vremenu, od strane izvorišnog čvora (engl. *Originating Node* – ON) ili središnjeg procesora za QoS usmjeravanje, koji informacije o stanju mreže i mrežnoj topologiji dobivaju razmjennom informacija s ostalim čvorovima u mreži i/ili središnjim procesorom za QoS usmjeravanje.

Različiti načini implementacije SDR usmjeravanja ovise o tome računaju li se tablice usmjeravanja u pojedinim čvorovima mreže ili to obavlja središnji procesor za QoS usmjeravanje. Ovise, također, i o tome računaju li se tablice usmjeravanja periodički ili za svaku konekciju zasebno.

Postoje tri različita načina implementacije SDR usmjeravanja:

- centralizirano usmjeravanje (CP-SDR);
- distribuirano periodičko usmjeravanje (DP-SDR) i
- distribuirano konekcijsko usmjeravanje (DC-SDR).

Kod CP-SDR središnji procesor za QoS usmjeravanje periodički prikuplja status pojedinih linkova i prometnih tokova od čvorova u mreži, te računa optimalnu tablicu

usmjeravanja za pojedini period. Za odrediti optimalnu tablicu procesor koristi proceduru najmanje-opterećenog usmjeravanja.

Kod DP-SDR svaki čvor periodički prikuplja statuse pojedinih linkova i prometnih tokova od ostalih čvorova u mreži, te računa optimalnu tablicu usmjeravanja za pojedini period. Preplavlivanje (engl. *flooding*) je uobičajena tehnika koja se koristi za distribuiranje informacija čvorovima u mreži. Postoje tehnike s manje *overheada* i metoda upit-za-status (engl. *query-for-status*).

Kod DC-SDR izvorišni čvor prikuplja statuse pojedinih linkova i prometnih tokova od odredišnog čvora, a moguće i od posrednih čvorova, zasebno za svaku konekciju te tako i računa optimalnu tablicu usmjeravanja. Provjerava se primarni put te ako nije dostupan ON pronalazi alternativni put ovisno o statusu prometnog opterećenja svih alternativnih putova prema odredišnom čvoru (engl. *Destination Node, DN*), [28].

4.2.3 Usmjeravanje temeljeno na događaju

Kod usmjeravanja temeljenog na događaju, tablice usmjeravanja se osvježavaju lokalno na temelju uspjeha ili neuspjeha uspostave konekcija na nekom putu. Kod EDR metoda, ako je zadnji korišteni put bio uspješan, isti put bit će korišten ponovo sve dok ne bude blokiran, a tada će se slučajnim odabirom odabrati novi put za iduću konekciju.

Odabir puta kod EDR usmjeravanja može također biti promjenjiv u odnosu na promjene prometnog opterećenja. *Success-to-the-top* (STT) EDR usmjeravanje je decentralizirano, *on-line* usmjeravanje s osvježavanjem temeljenim na slučajnom usmjeravanju (engl. *random routing*). STT-EDR koristi pojednostavljenu decentraliziranu metodu učenja kako bi se postiglo fleksibilno adaptivno usmjeravanje.

Primarni put se će se koristiti sve dok ne bude blokiran. U slučajevima kada je alternativni put (engl. *path-s*) blokiran slučajnim odabirom odabire se novi alternativni put (engl. *path-n*) za iduću konekciju kod koje primarni put neće biti dostupan. U procesu učenja kod EDR metode, trenutni izbor alternativnog puta može biti osvježavan slučajno, ciklički (*Round Robin* metodom) ili nekako drugačije, te se može koristiti koliko god dugo se na njemu uspješno ostvaruju konekcije. Slijedom toga,

tablica usmjeravanja sadrži informacije koje se prikupe za vrijeme uspostave konekcije, te nisu potrebne dodatne informacije od izvorišnog čvora, [29].

5 PROTOKOLI ZA USMJERAVANJE

Usmjeravanje prometa u mreži ima za cilj ostvariti siguran tok kojim će se prenositi podatci od izvora do odredišta uz optimalno korištenje resursa i osiguranje kvalitete usluge koja će zadovoljiti korisnika. Funkciju usmjeravanja izvršavaju usmjernici koristeći usmjerivačke protokole. Kako bi se odvijao brži prijenos, omogućuje se dinamičko prilagođavanje mreže nastalim uvjetima.

Osnovne vrste usmjerivačkih protokola dijele se na protokole vektora udaljenosti (engl. *distance-vector*) i protokole stanja veze (engl. *link-state*).

Protokoli vektora udaljenosti određuju koji je najbolji put prema dostupnim informacijama u odnosu na udaljenost odredišta paketa. Udaljenost se može odnositi na broj skokova do odredišta, a može biti i kombinacija nekih vrijednosti koje će definirati tu udaljenost.

Protokoli stanja veze funkcioniraju prema načelu poznavanja topologije mreže. Njima nije potrebna potpuna tablica usmjeravanja, već svaki usmjernik u mreži dobiva informaciju o stanju u obliku LSA (engl. *Link State Advertisement*) paketa. Na osnovu dobivenih informacija usmjernici ponovo izračunaju puteve, [24].

Kako bi se omogućila komunikacija i prolazak paketa kroz mrežu potrebno je koristiti protokole koji su namijenjeni za uspješnu komunikaciju, a koriste se na svim slojevima OSI modela. U nastavku ovog diplomskog rada opisać će se najznačajniji protokoli, a to su TCP, IP, UDP, RIP i OSPF protokoli, [30].

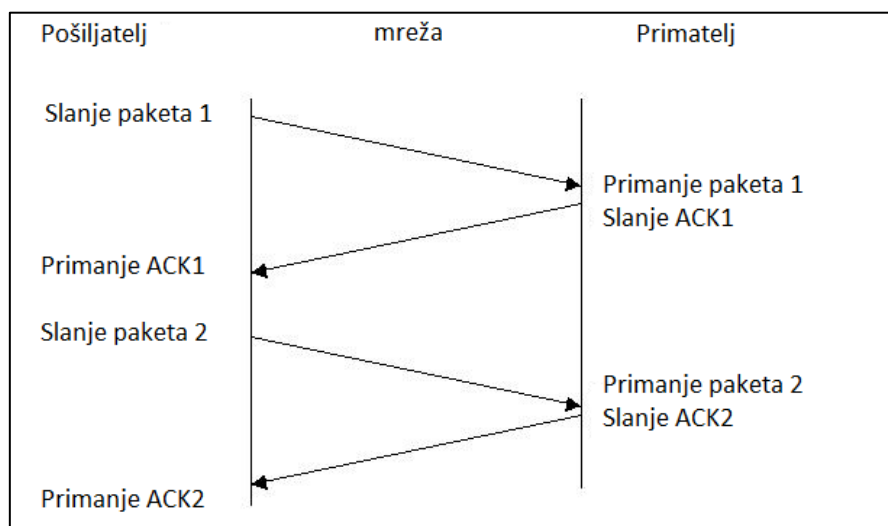
5.1 *Transmission Control Protocol*

TCP (engl. *Transmission Control Protocol*) je konekcijski orijentirani protokol kod kojeg konekcija ostaje ostvarena sve dok se ne završi razmjena poruka na razini aplikacija oba kraja razgovora. Protokol određuje kako će se segmentirati aplikacijski podatci kako bi se mogli isporučiti i kako slati te primiti pakete iz mrežnog sloja.

Protokol je zadužen za prijenos podataka bez pogreške pri čemu koristi retransmisiju u slučaju izgubljenih ili oštećenih paketa pri pristizanju na odredište.

Podjela na pojedinačne pakete omogućuje slanje većih skupova podataka čiji se redoslijed provjerava, te se paketi sastavljaju u točan raspored sekvence, [31].

Na primjeru koji slijedi opisano je kako bi izgledalo kada web poslužitelj šalje HTML¹⁹ datoteku klijentu, koristi se HTTP²⁰ protokol kako bi ostvario prijenos. HTTP programski sloj šalje zahtjev TCP sloju da uspostavi konekciju i pošalje datoteku. Nakon toga TCP dijeli datoteku na segmente, numerira ih i šalje individualno do IP sloja za dostavu. Iako svaki IP paket ima naznačenu istu izvornu i odredišnu adresu, ne znači da će putovati istim putem. TCP programski sloj u odredišnom računalu čeka dok svi paketi na stignu, nakon čega šalje potvrdu za pakete koji su pristigli. U slučaju nedostataka, traži retransmisiju što se može vidjeti iz nedostajućih brojeva paketa. Slikom 6. prikazan je proces slanja paketa.



Slika 6. Dijagram prikaza slanja paketa, [32]

Za prijenos kroz mrežu potrebno je ostvariti vezu koja počinje uspostavom veze s jednog računala, a želi se uspostaviti veza s procesom na drugom računalu. Uspostavu veze vrši klijent koji kontaktira poslužitelja. Klijentski TCP informira da želi uspostaviti vezu s poslužiteljem, te se tada šalje prvi specijalni segment. Slijedeći korak uspostave veze je da poslužitelj odgovara drugim specijalnim TCP segmentom,

¹⁹ HTML je engleska skraćenica za *HyperText Markup Language*, odnosno prezentacijski jezik za web stranice.

²⁰ HTTP je skraćenica za *Hyper Text Transfer Protocol*, odnosno mrežni protokol, aplikacijske razine, koji se koristi za prijenos datoteka koje u sebi sadrže veze na druge dokumente, [33].

a uspostava se potvrđuje klijentskom potvrdom trećim specijalnim segmentom. Procedura se naziva *tree-way handshake*, izvedena iz procesa uspostave veze pri kojem je potrebno razmijeniti tri segmenta prije nego počne razmjena podataka, a podatci su raspoređeni u segmente. U segmentu se nalazi zaglavlje sa 20 okteta za kojim slijedi nula ili više okteta podataka. Segment nastaje sakupljanjem podataka od nekoliko upisivanja ili razbijanjem podataka od jednog upisivanja, [34].

TCP je nastao kao dominantan protokol koji se koristi za veći dio internetske veze zahvaljujući uslugama za podjelu velikih skupova podataka na pojedinačne pakete, provjeravanjem i ponovnim slanjem paketa kao i ponovnim sastavljanjem paketa u ispravnu sekvencu. Nasuprot tome, UDP šalje samo pakete što znači da ima puno manju propusnost i kašnjenje. S obzirom na to, UDP predstavlja idealan protokol za mrežne aplikacije kojima se percipirano kašnjenje kritično kao što su umreženo igranje igara, glasovne i video komunikacije. Gubitak podataka je prihvatljiv, ali i dalje može utjecati na kvalitetu sadržaja, [35].

5.2 Internet Protocol

Internet protokol je temeljni protokol internet razine TCP/IP arhitekture. Koriste ga protokoli aplikacijskog sloja, prezentacijskog sloja te sloja sesije. Internet protokol je bespojni, što označava da se predajni i prijemni uređaji unutar mreže ne dogovaraju o početku ili završetku prijenosa podataka. Predajni uređaj šalje paket no za njegovo stanje ne dobiva potvrdu je li zaprimljen na odredištu, a takav princip rada karakterizira ga kao nepouzdan protokol.

Funkcije Internet protokola su:

- definiranje sheme adresiranja na internetu;
- definiranje IP paketa;
- prosljeđivanje podataka između razine pristupa mreži i prijenosne razine te
- fragmentacija i sastavljanje paketa.

Temeljna funkcija internet razine je usmjeravanje paketa do odredišta na osnovu IP adrese prijemnog uređaja paketa. Paketi pristigli na odredište nemoraju imati istu put do odredište, [36]. Format IP paketa prikazan je na slici 7.

4	8	16	32bit
Version	IHL	Type of service	Total length
Identification		Flags	Fragment offset
Time to live	Protocol	Header checksum	
Source address			
Destination address			
Option + Padding			
Data			

Slika 7. Format Ipv4 paketa, [36]

Za ostvarivanje komunikacije s kraja na kraj, kroz mrežu, protokoli mrežnog sloja izvode četiri osnovne operacije:

- adresiranje krajnjim uređajima;
- enkapsulacija;
- usmjeravanje i
- deenkapsulacija.

Za adresiranja krajnjim uređajima, krajnji uređaji moraju biti konfigurirani s jedinstvenom IP adresom za prepoznavanje na mreži.

Enkapsulacija na mrežnom sloju enkapsulira segment iz transportnog sloja u paket. Proces enkapsulacije dodaje informacije o zaglavlju IP adrese, poput IP adrese pošiljatelja i primatelja.

Usmjeravanje na mrežnom sloju pruža uslugu usmjeravanja paketa do određene hosta u drugoj mreži. Za usmjeravanje kroz mrežu koriste se usmjerivači koji odabiru najbolji put i usmjeravaju paket do odredišta. Svaki prolazak kroz usmjerivač naziva se skok, a brojem skokova ograničava se životni vijek svakog paketa. Svakim skokom smanjuje se vrijednost koja označava životni vijek paketa TTL (engl. *Time to Live*), a kada se ta vrijednost smanji na nulu, paket se odbacuje.

Deenkapsulacija odnosi se na raspakiranje pridošlog paketa. Provjerava se zaglavlje paketa koji je stigao na odredište, te ako se IP adresa unutar zaglavlja

podudara s njegovom IP adresom, zaglavlje se uklanja iz paketa. Nakon što se paket deenkapsulira na mrežnom sloju prosljeđuje se na transportni sloj, [37].

Danas je najraširenija verzija IP-a je *Internet Protocol* verzije 4 (IPv4). Zbog velikog rasta broja uređaja i zahtjeva da svaki uređaj u mreži ima vlastitu IP adresu, došlo je do manjka broja dostupnih IP adresa. Kako bi se proširio adresni prostor uveden je *Internet Protocol* verzije 6 (IPv6).

Internet Protocol verzije 6 pruža puno dulje adrese i samom time mogućnost mnogo više korisnika i uređaja koji se mogu spojiti na Internet mrežu. IPv6 uključuje mogućnosti IPv4 i bilo koji poslužitelj može podržati IPv6 paket također može podržati IPv4 paket, [38].

Razlika između IPv4 i IPv6 prikazana je u tablici 1 . Karakteristična razlika između ovih protokola je u zapisu njihove IP adrese. Kod IPv4 adresa je zapisana u binarnom zapisu i brojevi su odijeljeni točkom, dok se u IPv6 zapisuje u heksadecimalnom obliku te su notacije odvojene dvotočkom. Duljina IP adrese kod IPv4 32 bita, a kod IPv6 je duljina 128 bita.

IPv4 podržava *broadcast*, dok ga IPv6 ne podržava. Polje s *checksum* vrijednosti u IPv6 ne postoji, dok se u IPv4 koristi za kontrolu pristiglih paketa. IPv4 koristi ARP (engl. *Address Resolution Protocol*) kako bi mapirao MAC adresu²¹, dok se u IPv6 koristi NDP (engl. *Neighbour Discovery Protocol*) za mapiranje MAC adrese.

Tablica 1. Prikaz razlika između IPv4 i IPv6

	IPv4	IPv6
Postavljanje standarda	1974	1998
Vrsta standarda	IETF	IETF
Duljina u bitovima	32	128
Format adrese	Decimalani zapis 192.168.100.1	Heksadecimalni zapis 2001:0DB8:0234:AB00: 0123:4567:8901:abcd
Dinamika adresiranja	DHCP	SLAAC / DHCPv6
IPSec	Neobavezan	Obavezan
Duljina zaglavlja	Variabilna	Fiksna
Minimalna veličina paketa	576 bytes(fragmentiran)	1280 bytes
Checksum zaglavlja	Da	Ne
Opcije zaglavlja	Da	Ne
Flow	Ne	Naljepnica protoka paketa

Izvor: [40]

²¹ MAC je kratica *Media Acces Control* adresu, odnosno adresu mrežne kartice. [39]

Adresiranje i usmjeravanje su najsloženiji aspekti Internet protokola. Inteligencija mreže nalazi se u čvorovima u obliku usmjerivača koji prosljeđuju datagrame na sljedeći poznati *gateway* na ruti do krajnjeg odredišta. Usmjerivači koriste unutarnje protokole *gatewaya* ili vanjske protokole *gatewaya* kako bi im pomogli u donošenju odluka o rutiranju.

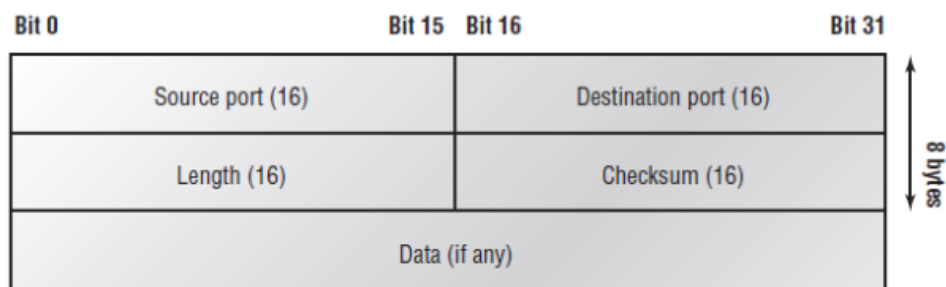
5.3 *User Datagram Protocol*

Protokol korisničkih datagrama (engl. *User Datagram Protocol*, UDP) je jednostavan beskonekcijski protokol transportnog sloja OSI modela, u mreži koja se bazira na Internet protokolu.

UDP protokol ne omogućava pouzdan prijenos što je različito od TCP koji omogućuje pouzdan prijenos paketa. Paketi nisu numerirani, a niti zaštitna suma nije obavezna što dovodi do toga da se ispravnost sadržaja ne provjerava prilikom prijensa. Za slučaj odbacivanja paketa ne javlja se poruka o pogrešci, a pogodan je za prijenos u stvarnom vremenu. UDP nema kontrolu toka te višak kapaciteta preuzima od TCP-a. Usmjeravanje se odvija neovisno o prethodnom čvoru, i vrši se od čvora do čvora. UDP se ne koristi za aplikacije koje su osjetljive na gubitak paketa, jer paketi mogu stići drugačijim redoslijedom ili mogu biti izgubljeni.

Scenarij koji se događa u mreži je opisan u nastavku. Najprije, TCP zbog zagušenja u mreži smanjuje brzinu odašiljanja. Nakon toga, UDP uskače u taj prostor i zauzima oslobođeni kapacitet. Zatim, TCP dodatno smanjuje brzinu odašiljanja, a UDP zauzima prepuštene resurse. Zbog ovakvog ponašanja u mrežama sa znatnom količinom UDP prometa mora se voditi računa o ovoj problematici, tj mora se konstantno pratiti i kontrolirati količina UDP prometa, [41].

Zaglavlje UDP protokola sastoji se od osam bajtova. Prikazano je slikom 8.



Slika 8. Struktura UDP segmenta, [41]

Za usmjeravanje paketa kroz mrežu koriste se kontrolne vrijednosti unutar zaglavlja svakog paketa. Kako je prikazano slikom 8., zaglavlje UDP protokola, uz podatke sadrži:

- izvorišni port;
- odredišni port;
- duljinu paketa i
- kontrolnu sumu.

Kontrolna suma (engl. *checksum*) se koristi za detekciju pogrešaka, ne i za korekciju. Koristi se tako da se cijeli sadržaj tretira kao cijeli broj te se zbrajaju vrijednost *checksum* i komplement. Na odredištu se zbrajaju vrijednosti bitova koje je poslao pošiljalac s onima koje su primljeni na odredištu. Ako u dobivenoj vrijednosti se nalazi vrijednost nula(0), tada je došlo do pogreške i traži se retransmisija, [42].

UDP koristi broj porta, a brojevi portova se koriste za identifikaciju aplikacija koja je odgovorna za rukovanje određenim konekcijama. Kod uspostave konekcije s udaljenim uređajem (npr. poslužiteljem), na klijentu je da odabere s kojim portom na izvorištu će komunicirati (prolazni port). Udaljeni kraj ima poznati broj porta i koristi se za identifikaciju dobro poznatih aplikacija, [2].

UDP se koristi kada je potrebno smanjiti potrebe za računalnim resursima, kada se koriste *multicast* ili *broadcast* za prijenos te kada se prenose paketi u stvarnom vremenu, uglavnom u multimedijским aplikacijama.

Primjer aplikacije koje koriste UDP protokol je VoIP (engl. *Voice over Internet Protocol*) i IPTV. Kod tih aplikacija zahtjevi su za malim kašnjenjem (engl. *delay*) i malom varijacijom kašnjenja (engl. *jitter*).

Moguće su tolerancije na gubitak paketa, iako su aplikacije osjetljive na kašnjenje. Na mjesto izgubljenog paketa dodaje se tišina ili šum, a moguće je i nekom rečenicom kao improvizacija dva sugovornika.

Nesporazum može izazvati kada kod prijenosa govora dođe do kašnjenja paketa. Kašnjenje paketa može potaknuti prijenos govora na prvoj strani, a da druga strana još nije dovršila govor.

5.4 Routing Information Protocol

Protokol usmjeravanja podataka (engl. *Routing Information Protocol*, RIP) je dinamički protokol usmjeravanja koji se koristi brojem skokova kao matricom usmjeravanja kako bi pronašao najbolji put između izvora i odredišta. Primjena RIP protokola češća je na Intranetima nego na mrežama povezanim na Internet. Danas se češće koristi na internim računalnim mrežama, a rjeđe kod mreža povezanih na Internet. Smatra se zastarjelim, pa su njegovu ulogu preuzeli protokoli kao što su OSPF (engl. *Open Shortest Path First*) i ISIS (engl. *Intermediate System-to-Intermediate System*).

RIP je protokol vektora udaljenosti koji koristi broj koraka kao matricu pri čemu broj koraka označava broj usmjerivača koje paket treba proći od izvora do odredišta. Kako bi se znalo stanje u susjednom ruteru, RIP šalje susjednim ruterima svoju tablicu, svakih 30 sekundi. Do promjene tablice dolazi kada ruter dobije poruku u kojoj je vidljiva promjena, tada i on mijenja svoju tablicu, a vrijednost matrice povećava za 1. Maksimalno je moguće napraviti 15 skokova. Svakih 30 sekundi usmjerivač šalje poruke ažuriranja tablica svojim susjedima. Ako ne dobije potvrdu u roku 180 sekundi, broj skokova se postavlja na 16. Nakon postavljanja broja skokova na 16, odbrojava se 120 sekundi te ako niti u tom periodu nije dobio odgovor, smjer se briše iz tablice usmjeravanja.

Kako bi se osigurala stabilnost prilikom promjene u topologiji mreže, razvijeni su dodatci.

Mehanizam podjele obzorja (engl. *Split Horizon Mechanism*) koristi uređaj koji je spojen na IP mrežu i koristi protokole usmjeravanja s daljinskim vektorima. *Split Horizon* blokira podatak o rutama koje uređaj oglašava izvan bilo kojeg sučelja iz kojeg

ta informacija potiče. Ovakav način komuniciranja optimizira komunikaciju između više uređaja, osobito kada su veze prekinute. Kod ažuriranja smjerova koji su prekinuti koriste se promjene izbrisanih smjerova (engl. *Hold Downs*). Može se dogoditi da usmjernik koji još nije obaviješten o prekidu veze šalje redovite poruke u kojima navodi da je smjer neispravan. Ako je smjer prekinut, usmjernik neće odmah po obavijesti o prekidu smjera uvrstiti takvu promjenu u tablicu usmjeravanja, već će određeno vrijeme zadržavati promjenu.

Za nalaženje i sprječavanje usmjerivačkih petlji između tri ili više usmjernika koriste se ažuriranje prekinutih veza (engl. *Poison Reverse Updates*), a njihov pokazatelj je povećanje broja koraka za pojedini smjer. Slanjem *Poison Reverse Updates* poruka, brišu se takvi smjerovi iz tablica usmjeravanja, [43].

5.5 *Open Shortest Path First*

Open Shortest Path First, OSPF, je protokol usmjeravanja stanja koji se koristi za pronalaženje najboljeg puta između izvora i odredišnog usmjerivača, pomoću vlastitog najkraćeg puta. OSPF je razvijen od strane *Internet Engineering Task Force* (IETF) kao jedan od internih protokola koji ima za cilj pomicanje paketa unutar velikog autonomnog sustava ili domene usmjeravanja. To je protokol mrežnog sloja koji radi na protokolu broj 89 i koristi AD vrijednost²² 110.

OSPF predstavlja rješenje za problem s ograničenjem brojeva skokova. Koristi IP *multicast* za slanje ažuriranja stanja veze, što osigurava manje obrade na usmjerivačima koji ne očitavaju OSPF pakete. Ažuriranja se šalju samo u slučaju promjene izmjenjivanja, umjesto povremeno. OSPF ima bolju konvergenciju od RIP-a, zato što se promjene usmjeravanja šire trenutačno, a ne povremeno i tako se omogućuje bolje uravnoteženje opterećenja. Omogućuje logično definiranje mreže u kojima se usmjerivači mogu podijeliti na područja te omogućuje usmjeravanje autentičnosti korištenjem različitih metoda provjere lozinke.

OSPF je protokol stanja veze, koje je opis veze sučelja na usmjerivaču i susjednih usmjerivača. Opis sučelja uključuje IP adresu sučelja, masku, vrstu mreže

²² Administrativna udaljenost (engl. *Administrative Distance*, AD) je značajka koju usmjerivači koriste kako bi odabrali najbolji put kad postoje dvije ili više različitih ruta do istog odredišta iz dva različita protokola usmjeravanja.

na koju je spojen, usmjerivače koji su povezani na tu mrežu i tako dalje. Stanje ovih opisa stanja veze tvori bazu podataka o stanju veze (engl. *Linkstate database*).

Provjera autentičnosti OSPF paketa u usmjerivačima omogućena je na temelju unaprijed definiranih lozinki. Prema zadanim postavkama, usmjerivač koristi nul vrijednost autentifikacije, što znači da usmjeravanje i razmjena kroz mrežu nije provjerena. Postoje druge dvije metode usmjeravanja: jednostavna provjera autentičnosti lozinke i provjera autentičnosti poruke (engl. *Message Digest Algorithm – MD5*), [44].

Nova inačica ovog protokola (OSPFv3) podržava IPv6 skupinu protokola, a razvijena je i MOSPF (engl. *Multicast Open Shortest Path First*) nadogradnja OSPF protokola koja još nije prisutna u široj upotrebi, [24].

6 ODABIR PUTA OVISNO O QOS GRANICAMA POJEDINIH APLIKACIJA

Kako je već prethodno definirano u ovom diplomskom radu, glavni zadaci rutera su usmjeravanje i prosljeđivanje paketa. Usmjeravanje paketa je postupak određivanja najboljeg puta po kojem će paket doći iz izvorišta do odredišta. Tim postupkom se objedinjuje niz protokola i algoritama, pomoću kojih se prikupljaju i razmjenjuju podatci o mrežnoj topologiji i time stvaraju tablice usmjeravanja.

Prosljeđivanje paketa kroz mrežu započinje deenkapsulacijom podataka iz paketa. Izdvajaju se parametri koji služe za provjeru usmjeravanja. Analizira se *checksum* vrijednost ispravnosti zaglavlja IP paketa te se provodi analiza opcije za IP (*source routing*, *record route* i druge).

Prije donošenja odluke o daljnjoj putanji paketa, izdvaja se odredišna adresa iz paketa te se prema njoj i tablici usmjeravanja donosi odluka o daljnjem usmjeravanju. U slučaju da je paket stigao na odredišni usmjerivač, daljnju obradu radi sustav usmjerivača. No ako usmjerivač nije stigao na odredište, sljedeći korak je provedba fragmentacije, i to samo ako je potrebno. Određeno je izlazno sučelje usmjerivača na koje se prosljeđuju paketi radi daljnjeg prosljeđivanja. Vršiti se provjera *access* liste na usmjerivaču na kojoj se vidi može li se paket proslijediti ili mora biti odbačen. Vrijeme života paketa TTL, smanjuje vrijednost za 1 i ako je vrijednost 0 paket se odbacuje. Na izlaznom sučelju obavlja se enkapsulacija te se obavlja prijenos nekim protokolom, [45], [46].

6.1 Strategije usmjeravanja

Strategija sekvencijalnog usmjeravanja upotrebljava se za izračun vjerojatnosti dostupnosti puta. Najprije se izmnoži vjerojatnost dostupnosti pojedinih grana, nakon čega se traži razlika puteva, a umnožak ovih vrijednosti daje vjerojatnost dostupnosti puta. Model će se računati prema ovoj strategiji. Uz navedenu strategiju, postoje još i strategija usmjeravanja uz upravljanje s izvorišnog čvora uz prenošenje i strategija usmjeravanja upravljanja s izvorišta.

Strategija usmjeravanja uz upravljanje s izvorišnog čvora uz prenošenje koristi se za izračun vjerojatnosti upotrebe puta uz mogućnost donošenja odluke u čvorovima

koji imaju tu sposobnost. Kod računanja puta ne uzimaju se za izračun isti putevi koji su već stavljeni u izračun i ispituju se grane do čvorova koji imaju mogućnost odlučivanja o daljnjem usmjeravanju.

Strategija usmjeravanja upravljanja s izvorišta ispituje se dostupnost puta, za razliku od sekvencijalnog usmjeravanja gdje smo ispitivali dostupnost grana u kojoj se u izračun uključuje prva sljedeća grana, u ovoj strategiji moramo uvrstiti cijeli put. Iste grane koje su zapisane u izračun dostupnosti puta uvrštavaju se jednom, bez obzira koliko puta se nalaze u stablu usmjeravanja, [47].

6.2 Prikaz modela mreže za odabir puta

U ovom diplomskom radu opisat će se primjer slanja paketa iz jedne domene modelirane mreže u drugu domenu i odabrati najbolja ruta za odabranu aplikaciju, a sve kako bi se zadovoljili parametri QoS. Odabir puta u primjeru ovisit će o dostupnosti grana kroz postavljenu mrežu.

Za potrebe izračuna i intepretacije dobivenih rezultata, najprije je potrebno definirati izraze, koji se koriste u formulama. Navedeni izrazi prikazani su tablicom 2.

Tablica 2. Definiranje izraza koji će se koristiti u izračunu

Izraz	Naziv	Definicija
T_s	Prosječno vrijeme posluživanja	Prosječno vrijeme posluživanja jednog korisnika
T_q	Prosječno vrijeme zadržavanja paketa	Sastoji se od prosječnog vremena posluživanja i prosječnog vremena čekanja na posluživanje
λ	Intenzitet nailazaka zahtjeva (paketa)	Označuje koliko često zahtjevi dolaze u sustav posluživanja
ρ	Prometno opterećenje	Suma prometnog opterećenja svih triju klasa zahtjeva
T_w	Prosječno vrijeme čekanja	Odnosi se na prosječno vrijeme koje paket provede u redu čekajući da bude poslužen

Izvor: [48]

Kako bi se sačuvali paketi (zahtjevi) koji čekaju na posluživanje, stavljaju se u red čekanja, odnosno spremnik (engl. *buffer*). Čekanje ovisi o intenzitetu nailazaka paketa u spremnik i prosječnom trajanju posluživanja, koje je ovisno o disciplini posluživanja.

Disciplina posluživanja koja će se koristiti u modelu je M/M/1. Disciplina posluživanja M/M/1 naziva se i Poissonova razdioba dolazaka paketa. Ovisna je o eksponencijalnoj razdiobi vremena posluživanja. Ima jednog poslužitelja i beskonačan spremnik.

Poissonova razdioba (distribucija) izražava vjerojatnost broja događaja ako se ti događaji pojavljuju u fiksnom vremenskom periodu s poznatom prosječnom brzinom ponavljanja i vremenski su nezavisne od prošlog događaja, [49].

Radi različitog broja paketa od svake klase i različite duljine tih paketa, potrebno je izračunati aritmetičku sredinu posluživanja T_s AS, koje je definirano prosječnim prometnim opterećenjem i sumom intenziteta nailazaka zahtjeva.

U čvor paketne višeuslužne mreže nailaze paketi, koji se mogu razvrstati u tri klase prometa. Intenzitet dolazaka paketa i prosječna duljina paketa prikazani su tablicom 3. Razdioba je eksponencijalna.

Za prikazani model potrebno je odrediti prosječno čekanje paketa koji pripadaju svakoj klasi prometa u čvoru paketne mreže, ako čvor paketne mreže poslužuje pakete po prioritetu. Način posluživanja u slučaju kada za vrijeme posluživanja paketa nižeg prioriteta u usmjerivač stigne paket višeg prioriteta, započeto posluživanje se ne prekida, nego se završava posluživanje paketa nižeg prioriteta.

Također, potrebno je odrediti kako će se na prosječno vrijeme čekanja paketa prometa u čvoru odraziti uvođenje prioriteta u posluživanju paketa za sve tri klase prometa.

Prva klasa odnosi se na prijenos govora te ima najviši prioritet. Druga klasa odnosi se na HD video te ima prioritet dva, dok se podatci svrstavaju u treću klasu i imaju najniži prioritet, [48].

Tablica 3. Prikaz intenziteta dolazaka paketa i prosječne duljine paketa

M/M/1 C = 1 Gbit/s	λ [pak/s]	\bar{p} [B]	\bar{p} [bit]
Klasa 1 – govor	150 000	300	2400
Klasa 2 – HD video	80 000	320	2560
Klasa 3 – podatci	1 000	20	160

Formulama (2) do (9) izračunati su izrazi navedeni u tablici 2.

$$T_q = T_s + T_w = \frac{\bar{p}}{c} + \frac{\rho \cdot T_s}{1 - \rho} \quad (2)$$

$$T_w = \frac{\rho \cdot T_s}{1 - \rho} \quad (3)$$

Kašnjenje druge klase jednako je kašnjenju svih drugih klasa, s obzirom na to da nema prioriteta posluživanja.

$$\rho = \lambda \cdot T_s = \lambda \cdot \frac{\bar{p}}{c} \quad (4)$$

$$\rho = \lambda_1 \cdot \frac{\bar{p}_1}{c} + \lambda_2 \cdot \frac{\bar{p}_2}{c} + \lambda_3 \cdot \frac{\bar{p}_3}{c} \quad (5)$$

$$\rho = 150000 \cdot \frac{2400}{10^9} + 80000 \cdot \frac{2560}{10^9} + 1000 \cdot \frac{160}{10^9} = 0,56496 \text{ Erl} \quad (6)$$

$$T_{sAS} = \frac{\sum \lambda_i \cdot T_{si}}{\sum \lambda_i} \quad (7)$$

$$T_{sAS} = \frac{0,56496}{159000} = 3,55 \cdot 10^{-6} \text{ s} \quad (8)$$

$$T_w = \frac{0,56496 \cdot 2,467,15 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,56496} \quad (9)$$

$$T_w = 3,269 \cdot 10^{-6} \quad (10)$$

U nastavku slijedi izračun vremena čekanja, nakon uvođenjem prioriteta.

$$T_{wk} = \frac{T_0}{(1 - R_{k-1})(1 - R_k)} \quad (11)$$

$$T_{w2} = \frac{T_0}{(1 - \rho_1)(1 - \rho_1 - \rho_2)} = \frac{1,016 \cdot 10^{-6}}{(1 - 0,36)(1 - 0,36 - 0,2048)} = 3,647 \cdot 10^{-6} \quad (12)$$

$$T_0 = \frac{1}{2} \sum_i^n \lambda_i \cdot \overline{t_{si}^{(2)}} = \frac{1}{2} (\lambda_1 \cdot 2T_{s1}^2 + \lambda_2 \cdot 2T_{s2}^2 + \lambda_3 \cdot 2T_{s3}^2) \quad (13)$$

$$T_0 = \frac{1}{2} (150000 \cdot 2 \cdot 4,402 \cdot 10^{-12} + 80000 \cdot 2 \cdot 4,402 \cdot 10^{-12} + 1000 \cdot 2 \cdot 4,402 \cdot 10^{-12}) \quad (14)$$

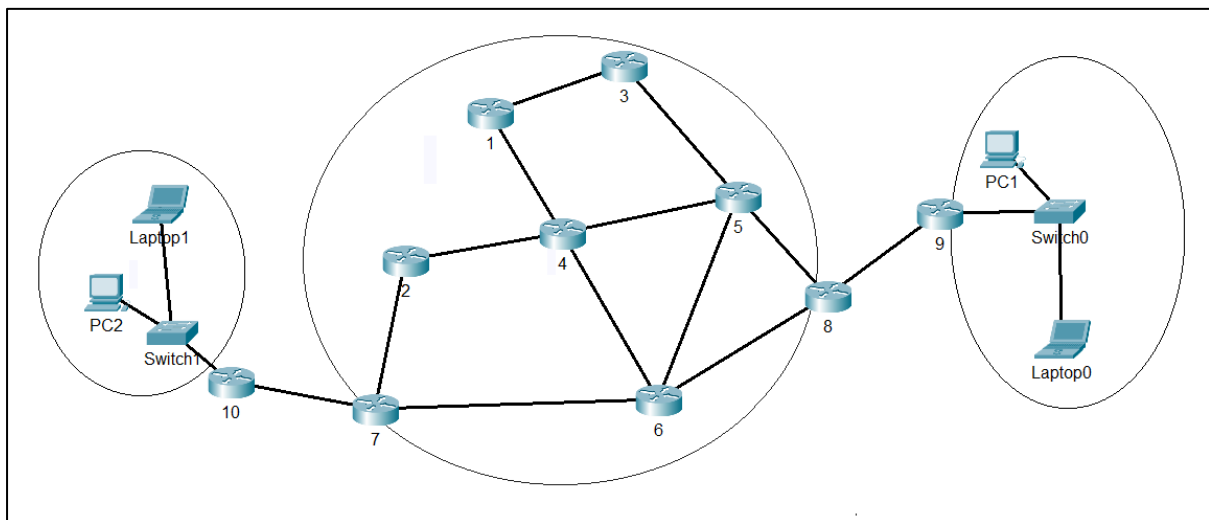
$$T_0 = 0,66 \cdot 10^{-6} + 0,352 \cdot 10^{-6} + 0,004 \cdot 10^{-6} = 1,016 \cdot 10^{-6} s \quad (15)$$

$$T_{w1} = \frac{T_0}{(1 - \rho_1)} = \frac{1,016 \cdot 10^{-6}}{(1 - 0,36)} = 1,587 \cdot 10^{-6} s \quad (16)$$

$$T_{w3} = \frac{T_0}{(1 - \rho_1 - \rho_2)(1 - \rho_1 - \rho_2 - \rho_3)} \quad (17)$$

$$T_{w3} = \frac{1,016 \cdot 10^{-6}}{(1 - 0,36 - 0,2048)(1 - 0,36 - 0,2048 - 0,00016)} = 5,366 \cdot 10^{-6} s \quad (18)$$

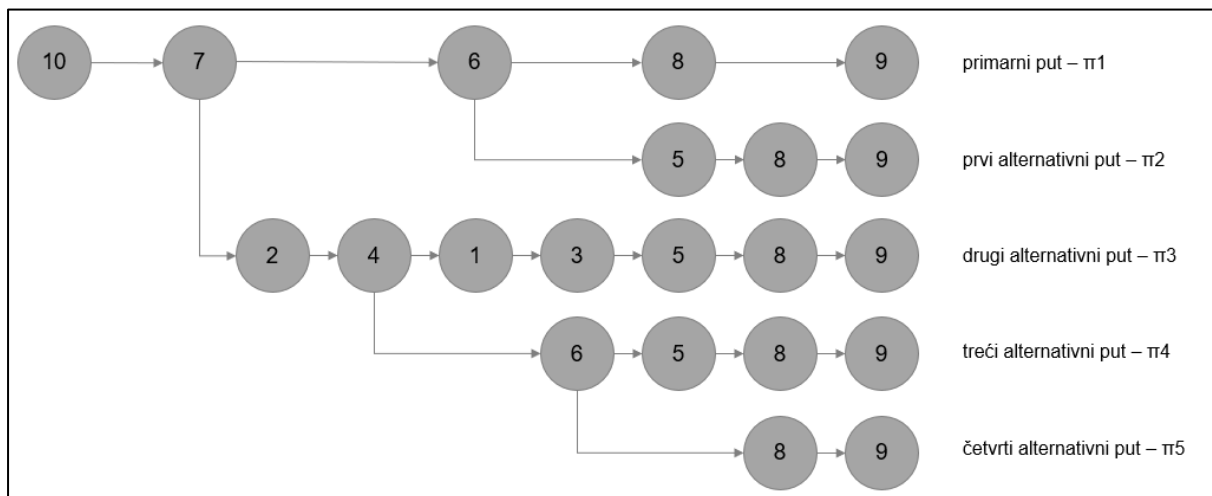
Shematski prikaz navedene modelirane mreže prikazan je slikom 9, koja je izrađena pomoću mrežnog alata *Cisco Packet Tracer*.



Slika 9. Shematski prikaz modelirane mreže

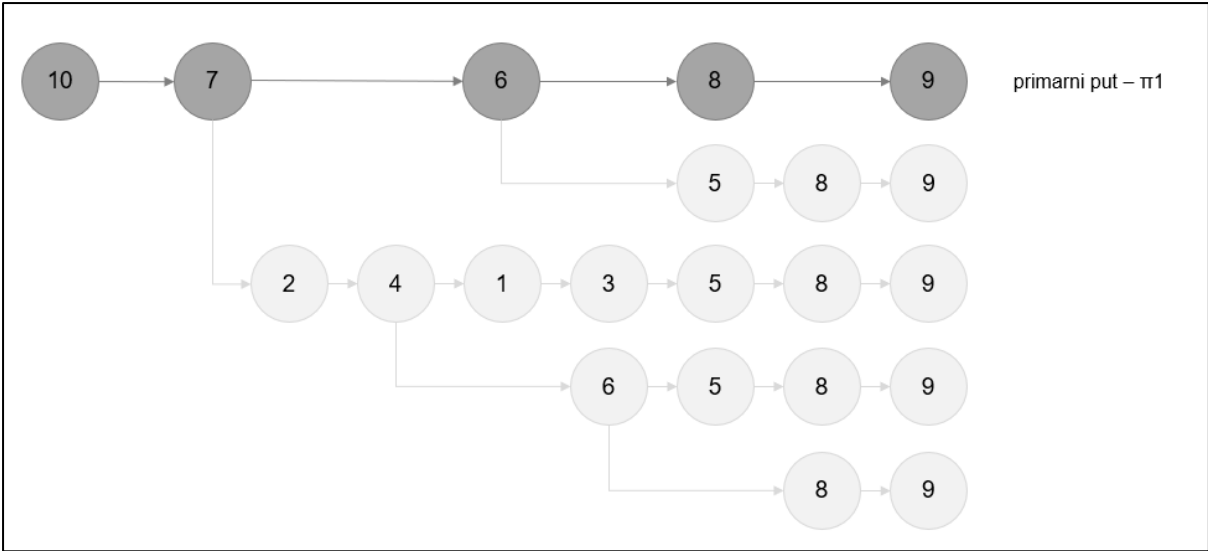
Tablica 4. Tablica usmjeravanja za modeliranu mrežu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	x	4	3	4	3	4	4	3	3	4
2	4	x	4	4	4	7	7	7	4,7	7
3	1,5	1,5	x	1	5	1	1	5	5	1
4	1	2	5*	x	5	2	2	6	1,6	2
5	4	4	3	4	x	6	4	8	8	4
6	4,5	4,7	5*	4	5	x	7	8	5,8	7
7	2	2	2	2	2	6*	x	6*	2,6*	10
8	5	5,6	5	5	5	6	6	x	9	6
9	8	8	8	8	8	8	8	8	x	8
10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	x

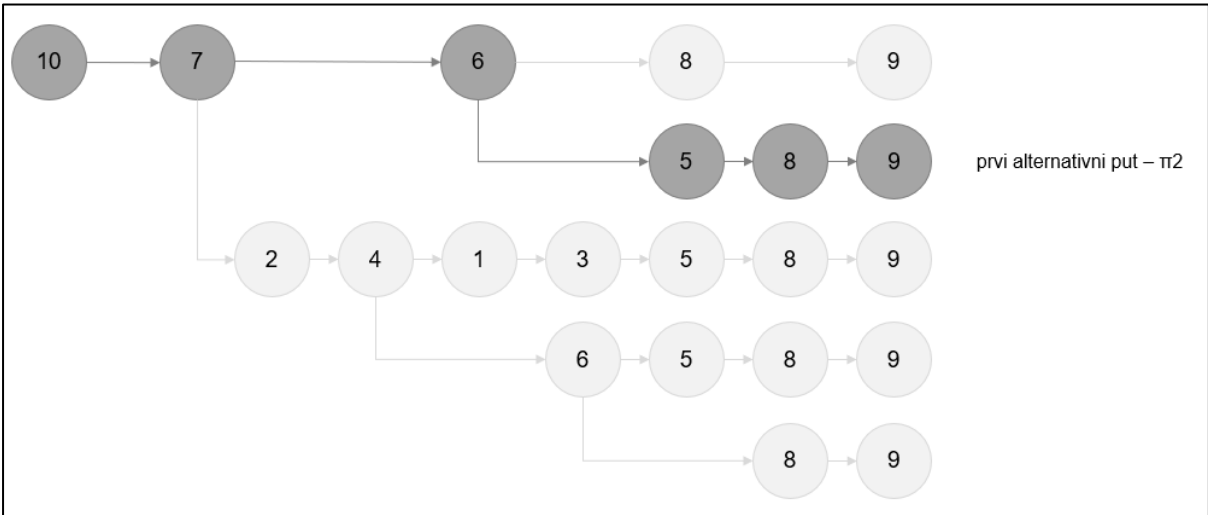


Slika 10. Stablo usmjeravanja za modeliranu mrežu

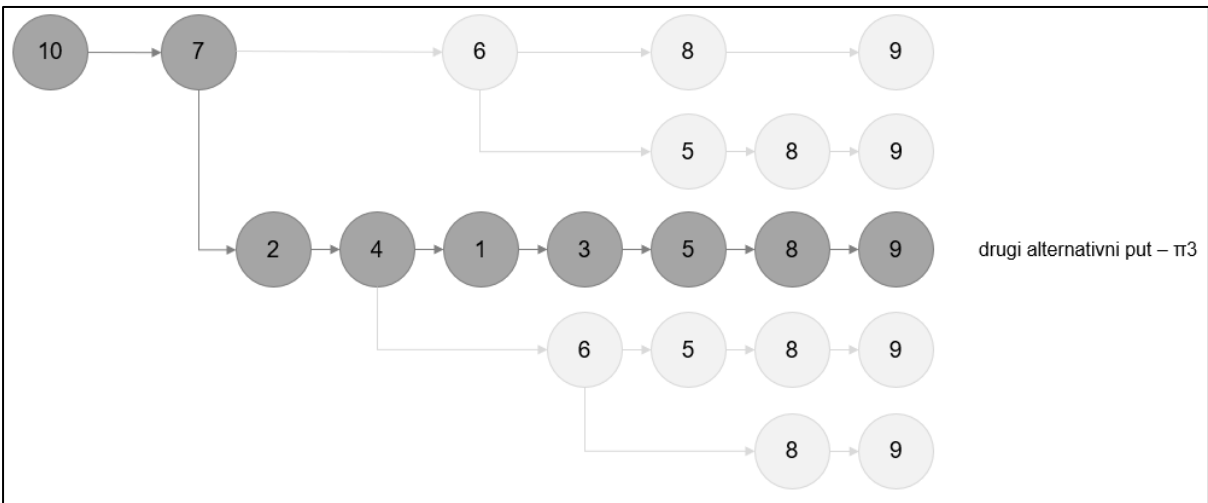
Slikama od 11 do 15 prikazani su putevi kroz modeliranu mrežu za put od čvora 10 do čvora 9, dok ostali putevi nisu uzimani za izračun u ovom primjeru.



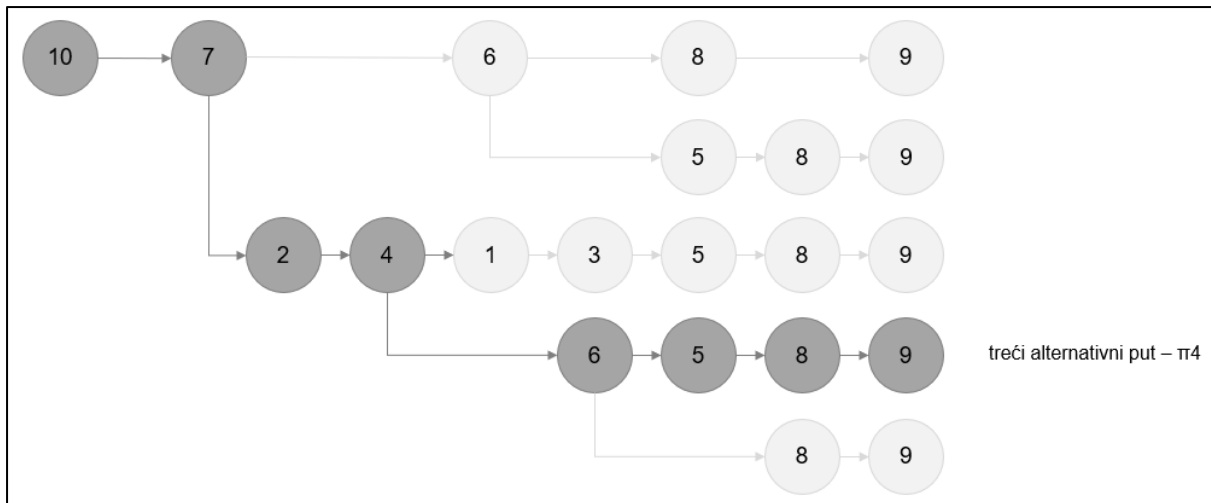
Slika 11. Stablo usmjeravanja – primarni put



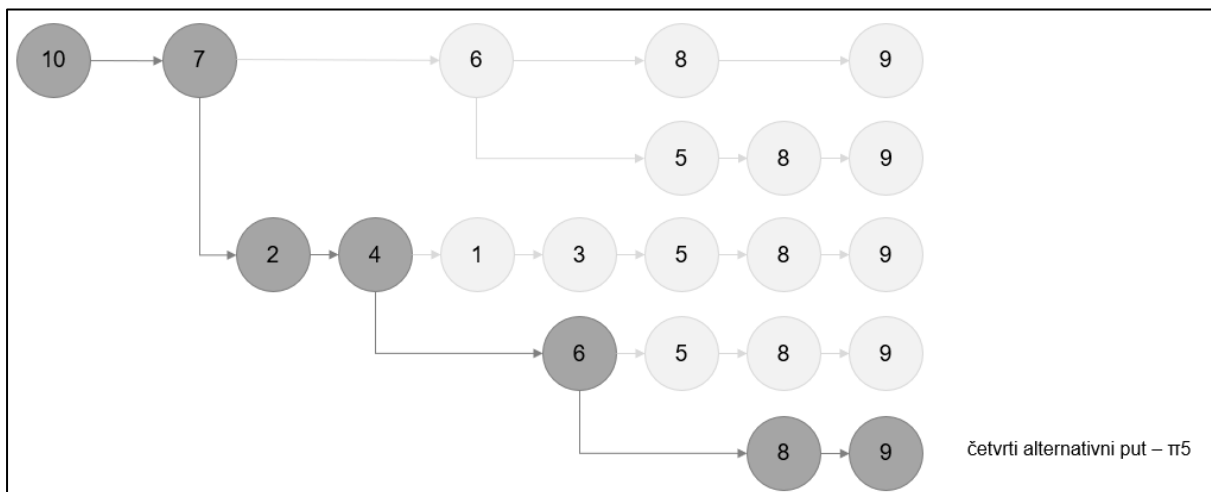
Slika 12. Stablo usmjeravanja – prvi alternativni put



Slika 13. Stablo usmjeravanja – drugi alternativni put



Slika 14. Stablo usmjeravanja – treći alternativni put



Slika 15. Stablo usmjeravanja – četvrti alternativni put

Formulama niže prikazani su izračuni vjerojatnosti dostupnosti puteva kroz modeliranu mrežu. Vjerojatnost dostupnosti svih grana iznosi 0,98, izuzev grane 6-8, koja iznosi 0,95.

Vjerojatnosti prikazuju kolika je mogućnost da bude odabran taj put s obzirom na druge puteve. Pomoću vjerojatnosti možemo odrediti kojim putem će biti poslani paketi, a dostupnost svake pojedine grane ovisi o zagušenosti grane.

Veća zagušenost grane rezultirat će manjom vjerojatnosti odabira te grane za prijenos putem nje. Stoga će se odabrati put koji ima najveću vjerojatnost korištenja, jer će se njime prenijeti paketi na najbrži način, njihovo zadržavanje biti će minimizirano. Brojem skokova određen je životni vijek paketa, te se njima regulira

koliko paket može maksimalno napraviti skokova. Kada brojač skokova dođe na nulu, paket se odbacuje, te takav događaj utječe na kvalitetu komunikacije.

$$P(\pi_1 \text{ korišten}) = X_{107} \cdot X_{76} \cdot X_{68} \cdot X_{89} = 0,8941 = 89,41\% \quad (17)$$

$$P(\pi_2 \text{ korišten}) = X_{107} \cdot X_{76} \cdot X_{65} \cdot X_{58} \cdot X_{89} (1 - X_{68}) = 0,0452 = 4,52\% \quad (18)$$

$$P(\pi_3 \text{ korišten}) = X_{107} \cdot X_{72} \cdot X_{24} \cdot X_{41} \cdot X_{13} \cdot X_{35} \cdot X_{58} \cdot X_{89} (1 - X_{76}) = 0,0170 = 1,70\% \quad (19)$$

$$P(\pi_4 \text{ korišten}) = X_{107} \cdot X_{72} \cdot X_{24} \cdot X_{46} \cdot X_{65} \cdot X_{58} \cdot X_{89} \cdot \left(1 - (X_{76} + X_{41} \cdot (1 - (X_{76})))\right) = 0,0003689 = 0,0369\% \quad (20)$$

$P(\pi_5 \text{ korišten})$

$$\begin{aligned} &= X_{107} \cdot X_{72} \cdot X_{24} \cdot X_{46} \cdot X_{68} \cdot X_{89} \\ &\cdot \left(1 - \left(X_{76} + X_{41} \cdot (1 - X_{76}) + X_{65} \cdot \left(1 - (X_{76} + X_{41} \cdot (1 - X_{76}))\right)\right)\right) = 0,000006869 = 0,0006869\% \end{aligned} \quad (21)$$

7 ZAKLJUČAK

Višeuslužne mreže postavljene su kao mreže koje pružaju više od jedne usluge bez obzira na medij kojim se prenose. Usluga prijenosa odnosi se na prijenos govora, prijenos podatkovnih aplikacija i multimedijских usluga te slika.

Podjela sustava višeuslužnih mreža obavlja se kroz definirane čvorove i prema određenim protokolima koji reguliraju način prijenosa unutra Internet mreže. Prikaz slojevitosti višeuslužnih mreža jasno se definira kroz poopćeni OSI model, kroz koji je moguće prikazati prijenos zahtjeva (podataka) od izvora do odredišta, kroz svaki sloj modela.

Kako bi se osigurali parametri kvalitete usluge koriste se mehanizmi *IntServ* i *DiffServ* te usluga nabolje namjene *Best Effort*. Kvaliteta usluge definirana je QoS parametrima zadovoljstva korisnika, koji su mjerljivi pokazatelji kvalitete usluge.

Za odabir puta kojim će se slati podatci koristi se usmjeravanje, koje može biti ručno definirano ili automatski. Postoje fiksne i alternativne metode usmjeravanja puteva za prijenos entiteta. Alternativno usmjeravanje može ovisiti o vremenu, stanju ili događaju u mreži.

Usmjerivački protokoli koriste se za usmjeravanje, osiguravanje slanja i isporuku, ovisno na kojem se sloju OSI modela enkapsulira poruka.

Postavljen je model uz koji ide pripadajuće tablica stanja, te su izvedeni stablo usmjeravanja i izračuni za sekvencijalnu strategiju usmjeravanja kroz model. Iz izračuna se vidi kako se dodjeljivanjem prioriteta drugoj klasi smanjilo vrijeme čekanja u sve tri klase.

Po prikazanom modelu iz izračuna prema formulama od 17 do 21, vidljivo je kako je najveća vjerojatnost da će se koristiti primarni put uz zadane parametre.

POPIS LITERATURE

- [1] Mrvelj, Š.: *Slojevite arhitekture i norme umrežavanja otvorenih sustava*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- [2] Mrvelj, Š.: *Promet u Internet mreži*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
URL: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/10predavanje.pdf (pristupljeno: siječanj 2020.)
- [3] URL: <https://sysportal.carnet.hr/node/352> (pristupljeno: veljača 2020.)
- [4] *TCP/IP Reference Model Explained*
URL: <https://www.computernetworkingnotes.com/ccna-study-guide/tcp-ip-reference-model-explained.html> (pristupljeno: siječanj 2020.)
- [5] Enkapsulacija podataka
URL: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/encapsulation> (pristupljeno: siječanj 2020.)
- [6] Mrvelj, Š.: *Slojevite arhitekture i norme umrežavanja otvorenih sustava*, autorizirano predavanje iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa 1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
- [7] Androić, D.: *Osnovna mrežna terminologija*, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb
URL: http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1.pdf (pristupljeno: siječanj 2020.)
- [8] SLA ugovori
URL: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/hr/S5LL9Z_7.6.2/com.ibm.spr.doc/sla_spr/c_sla_application.html (pristupljeno: siječanj 2020.)
- [9] Chuprikov, P., Nikolenko, S. I., Davydow, A., Kogan, K.: *Priority Queueing for Packets With Two Characteristics*, IEEE/ACM Transactions on Networking, svezak: 26, izdanje: 1, str. 342.-355.
- [10] *IntServ*
URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/integrated-services/index.html> (pristupljeno: siječanj 2020.)
- [11] *Best Effort* usluga

- URL: <https://www.potaroo.net/ispcol/2001-09/2001-09-best.pdf> (pristupljeno: siječanj 2020.)
- [12] Protokoli aplikacijskog sloja URL: <https://marul.ffst.hr/~lmales/rm/pf-rm-pog9.pdf> (pristupljeno: siječanj 2020)
- [13] *SIP* protokol URL: <https://searchunifiedcommunications.techtarget.com/definition/Session-Initiation-Protocol> (pristupljeno: siječanj 2020)
- [14] *Media Gateway Control Protocol* URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5479259> (pristupljeno: siječanj 2020)
- [15] *SIP* poziv URL: <https://www.nextiva.com/blog/sip-protocol.html> (pristupljeno: siječanj 2020)
- [16] *DHCP* protokol URL: <http://mreze.layer-x.com/s030400-0.html> (pristupljeno: veljača 2020)
- [17] *RTP* protokol URL: <https://www.nfon.com/hr/servis/baza-znanja/baza-znanja/rtp> (pristupljeno: siječanj 2020)
- [18] *RTP* protokol URL: <https://www.3cx.com/pbx/rtp/> (pristupljeno: siječanj 2020)
- [19] *RTP* protokol
URL: <http://www-sop.inria.fr/members/Vincenzo.Mancuso/SatRM3.pdf> (pristupljeno: veljača 2020)
- [20] Latencija URL: <https://www.rječnik.com/Latencija> (pristupljeno: veljača 2020)
- [21] Mrvelj, Š.: *Ciljevi razine usluge QoS/GoS/ NP*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
URL: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/4_predavanje.pdf (pristupljeno: veljača 2020)
- [22] *Jitter*
URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/18902-jitter-packet-voice.html> (pristupljeno: veljača 2020)
- [23] *BER*
URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/bit-error-rate-ber/what-is-ber-definition-tutorial.php> (pristupljeno: veljača 2020)
- [24] Metode usmjeravanja

- URL: <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2019/04/CCERT-PUBDOC-2007-02-183.pdf> (pristupljeno: veljača 2020)
- [25] Fiksno usmjeravanje URL: <https://hr.continuousdev.com/24782-fixed-routing-6727> (pristupljeno: veljača 2020)
- [26] TDR usmjeravanje
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030505481500146X>
(pristupljeno: veljača 2020.)
- [27] SDR URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02139309> (pristupljeno: veljača 2020.)
- [28] Mrvelj, Š.: *Metode za QoS usmjeravanje u višeuslužnim mrežama temeljenim na IP protokolima*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
URL: https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/1965532/mod_resource/content/4/6-predavanje%20ttk2%20za%20objavu2018.pdf (pristupljeno: veljača 2020)
- [29] *Usmjeravanje temeljeno na događaju* URL: [https://www.acronymfinder.com/Event_Dependent-Routing-\(EDR\).html](https://www.acronymfinder.com/Event_Dependent-Routing-(EDR).html)(pristupljeno: veljača 2020)
- [30] *Usmjerivački protokoli*
URL: <https://sysportal.carnet.hr/node/650> (pristupljeno: veljača 2020)
- [31] TCP protokol URL: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/TCP>
(pristupljeno: veljača 2020)
- [32] *Slanje paketa TCP* URL: <https://www.tutorialsworld.com/networking/tcp-ip/udp-tcp.htm> (pristupljeno: veljača 2020)
- [33] HTTP protokol URL: <http://mreze.layer-x.com/s050100-0.html> (pristupljeno: veljača 2020)
- [34] Uspostava veze kod TCP URL: <https://www.geeksforgeeks.org/tcp-3-way-handshake-process/> (pristupljeno: veljača 2020)
- [35] UDP protokol URL: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/UDP-User-Datagram-Protocol> (pristupljeno: veljača 2020)
- [36] Forma IP paketa URL: <http://mreze.layer-x.com/s030100-0.html> (pristupljeno: veljača 2020)
- [37] Materijali za interna predavanja Cisco polaznike
URL: <https://contenthub.netacad.com/itn/8.1.7> (pristupljeno: veljača 2020)
- [38] Internet Protocol

- URL: <https://searchunifiedcommunications.techtarget.com/definition/Internet-Protocol> (pristupljeno: veljača 2020)
- [39] MAC URL: <https://sysportal.carnet.hr/node/393> (pristupljeno: veljača 2020)
- [40] Razlike između IPv4 i IPv6 URL: <https://www.guru99.com/difference-ipv4-vs-ipv6.html> (pristupljeno: veljača 2020)
- [41] User Datagram Protocol
URL: <https://quasarsyncopation.wordpress.com/2012/10/03/user-datagram-protocol> (pristupljeno: veljača 2020)
- [42] Checksum URL: <https://www.lifewire.com/what-does-checksum-mean-2625825> (pristupljeno: veljača 2020)
- [43] RIP protokol URL: <https://sysportal.carnet.hr/node/651> (pristupljeno: veljača 2020)
- [44] OSPF URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/7039-1.html> (pristupljeno: veljača 2020)
- [45] Mrvelj, Š.: Komutacijski i transmisijski sustavi paketne mreže, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
URL: <https://www.weboteka.net/fpz/Tehnologija%20TK%20prometa%20I/materijali/09%20-%20komutacijski%20i%20transmisijski%20sustavi%20za%20objavu.pdf> (pristupljeno: veljača 2020)
- [46] Osnove mrežnog usmjeravanja URL: <https://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2007-02-183.pdf> (pristupljeno: veljača 2020)
- [47] Matulin, M.: Sekvencijalna strategija usmjeravanja- primjeri sa auditornih vježbi, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018. URL: <https://moodle.srce.hr/2018-2019/mod/url/view.php?id=639336> (pristupljeno: veljača 2020)
- [48] Mrvelj, Š.: Autorizirana predavanja za studente Fakulteta prometnih znanosti-odobrene formule za Tehnologiju telekomunikacijskog prometa I i II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018
- [49] Pisonova distribucija URL: http://www.unizd.hr/Portals/13/NASTAVNI_MATERIJALI/04%20-%20Distribucije.pdf (pristupljeno: veljača 2020)

POPIS AKRONIMA I KRATICA

akronim ili kratica	značenje akronima ili kratice
3GPP	3rd Generation Partnership Project
AD	Administrative Distance
ARP	Address Resolution Protocol
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
BNA	Bandwidth Not Available
CP-SDR	centralizirano usmjeravanje temeljeno na stanju
DC-SDR	distribuirano konekcijsko usmjeravanje temeljeno na stanju
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DiffServ	Differentiated services
DN	Destination Node
DNS	Domain Name System
DP-SDR	distribuirano periodičko usmjeravanje temeljeno na stanju
EDR	Event Dependent Routing
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCFS	First Come First Served
FIFO	First In First Out
FR	Frame Relay
FR	Fixed Routing
FTP	File Transfer Protocol
HTML	HyperText Markup Language
IETF	Internet Engineering Task Force
IntServ	Integrated services
IP	Internet Protocol
ISIS	Intermediate System-to-Intermediate System
ITU	International Telecommunication Union
LCFS	Last Come First Served
LIFO	Last In First Out
LSA	Link State Advertisement
MD5	Message Digest Algorithm
MGCP	Media Gateway Control Protocol
MOSPF	Multicast Open Shortest Path First
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MSN	Multi Service Network
NDP	Neighbour Discovery Protocol
ON	Originating Node
OSI	Open System Interconnection Basic Reference Model
OSPF	Open Shortest Path First
QoS	Quality of Service
RIP	Routing Information Protocol
RR	Round Robin
RSVP	Resource Reservation Protocol

akronim ili kratica	značenje akronima ili kratice
RTCP	Real Time Control Protocol
RTD	Round Trip Delay Time
RTP	Real-Time Transport Protocol
SDR	State Dependent Routing
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
STT	Success-to-the-top
TCA	Traffic Conditioning Agreement
TDR	Time Dependent Routing
TTL	Time to Live
UDP	User Datagram Protocol
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
WINS	Windows Internet Name Service

POPIS STRANIH IZRAZA

strani izraz	značenje ili opis stranog izraza
3rd Generation Partnership Project	Projekt partnerstva treće generacije
Administrative Distance	Administrativna udaljenost
Asynchronous Transfer Mode	asinkroni mod prijenosa
Best Effort Service	usluga najbolje namjene
buffer	spremnik
checksum	kontrolna suma
delay	kašnjenje
Destination Node	odredišni čvor
distance-vector	vektori udaljenosti
European Telecommunications Standards Institute	Europski institut za telekomunikacijske standarde
Event Dependent Routing	usmjeravanje temeljeno na događaju u mreži
Fixed Routing	fiksno usmjeravanje
flooding	preplavlivanje
forwarding	prosljeđivanje
International Telecommunication Union	Međunarodna telekomunikacijska unija
link state database	podatak o stanju veze
link-state	stanje veze
Multi Service Network	Višeuslužna mreža
Originating Node	izvorišni čvor
Poison Reverse Updates	Ažuriranje prekinutih smjerova
Quality of Service	kvaliteta usluge
query-for-status	upit-za-status
random routing	slučajno usmjeravanje
routers	usmjerivači
routing	usmjeravanje
Routing Information Protocol	Protokol usmjeravanja podataka
scheduling	raspoređivanje
Split Horizon Mechanism	Mehanizam podjele obzorja
State Dependent Routing	usmjeravanje temeljeno na stanju u mreži
Time Dependent Routing	usmjeravanje temeljeno na vremenu
Time To Live	životni vijek
User Datagram Protocol	Protokol korisničkih datagrama
Video on Demand	video na zahtjev
Video Streaming	prijenos videa strujanjem
Voice over Internet Protocol	Internet telefonija

POPIS ILUSTRACIJA

Popis slika

Slika 1. Poopćeni model telekomunikacijske mreže	5
Slika 2. Referenti modeli	6
Slika 3. Enkapsulacija podataka.....	6
Slika 4. Prikaz SIP poziva	11
Slika 5. Grafički prikaz <i>jittera</i>	16
Slika 6. Dijagram prikaza slanja paketa.....	25
Slika 7. Format IP paketa	27
Slika 8. Struktura UDP segmenta.....	30
Slika 9. Shematski prikaz modelirane mreže.....	38
Slika 10. Stablo usmjeravanja za modeliranu mrežu.....	39
Slika 11. Stablo usmjeravanja – primarni put	40
Slika 12. Stablo usmjeravanja – prvi alternativni put	40
Slika 13. Stablo usmjeravanja – drugi alternativni put.....	40
Slika 14. Stablo usmjeravanja – treći alternativni put	41
Slika 15. Stablo usmjeravanja – četvrti alternativni put	41

Popis tablica

Tablica 1. Prikaz razlika između IPv4 i IPv6	28
Tablica 2. Definiranje izraza koji će se koristiti u izračunu.....	35
Tablica 3. Prikaz intenziteta dolazaka paketa i prosječne duljine paketa	36
Tablica 4. Tablica usmjeravanja za modeliranu mrežu.....	39



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski 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 _____ diplomskog rada
pod naslovom **Usmjeravanje paketa u višeuslužnim mrežama temeljeno na**
zahtjevima kvalitete usluge

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

U Zagrebu, 8.9.2021 _____

Student:

(potpis)