Osiguravanje kvalitete usluge u MPLS mrežama

Perić, Blažen

Master's thesis / Diplomski 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:119:264210

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-26**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Blažen Perić

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 26. ožujka 2018.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4597

Pristupnik: **Blažen Perić (0135229046)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Osiguravanje kvalitete usluge u MPLS mrežama**

Opis zadatka:

Opisati značajke višeuslužnih mreža i aplikacija koje podržavaju. Usporediti mehanizme IP i MPLS usmjeravanja, opisati MPLS labele, strukturu zaglavlja paketa i tablice rutiranja. Analizirati mehanizme i procese za uspostavu LSP-a. Opisati mehanizme za upravljanje prometom u MPLS mrežama i na analitičkom primjeru analizirati performanse MPLS usmjeravanja u usporedbi s tradicionalnim metodama usmjeravanja te utjecaj na kvalitetu usluge.

Mentor:

dr. sc. Marko Matulin

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

OSIGURAVANJE KVALITETE USLUGE U MPLS MREŽAMA

QUALITY OF SERVICE ASSURANCE IN MPLS NETWORKS

Mentor: dr. sc. Marko Matulin

Student: Blažen Perić, 0135229046

Zagreb, srpanj 2018.

OSIGURAVANJE KVALITETE USLUGE U MPLS MREŽAMA

SAŽETAK

U ovome radu su opisani različiti mehanizmi MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) usmjeravanja i njihova implementacija. Tijekom razrade tematike prikazana je potreba za MPLS mrežom i njene prednosti. Isto tako, prikazani su glavni elementi mreže, MPLS aplikacije, MPLS operacije, mrežna topologija mreže i ostalo. Glavni zadatak je prikazati kvalitetu usluge MPLS mreže te mogućnosti unaprjeđenja kvalitete. Napravljena je usporedba MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja pri čemu su analizom određena vremena kašnjenja u oba slučaja te su adekvatnim dijagramima i tablicama prikazani dobiveni rezultati.

Ključne riječi: MPLS, usmjeravanje, kvaliteta usluge

SUMMARY

In this thesis are described the different mechanisms of MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) routing and their implementation. During the development of the topic, the needs for the MPLS network and its advantages were presented. Also, the main elements of the network, the MPLS application, the MPLS operation, the network topology network and the rest are shown. The main task will be to show the quality of the MPLS network service and the quality improvement possibilities. A comparison of MPLS routing and classical routing has been made, with the analysis of delay times in both cases, and adequate graphs and tables show the obtained results.

Key words: MPLS, routing, quality of service

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. VIŠEUSLUŽNE MREŽE, APLIKACIJE 3

2.1. Povijesni razvoj višeuslužnih mreža 3

2.2. Protokoli u višeuslužnim mrežama 4

2.2.1. SIP (Session Initiation Protocol) 4
2.2.2. RTCP protokol 5
2.2.3. QoS signalizacijski protokoli 6

2.3. Arhitektura višeuslužnih mreža 8

3. KVALITETA USLUGE 11

3.1. GoS (*Grade of Service*) 11

3.2. Parametri kvalitete 11

3.2.1. Propusnost 11
3.2.2. Kašnjenje 12
3.2.4. Gubici 13
3.2.5. Iskustvena kvaliteta QoE 13

3.3. Arhitektura kvalitete usluge 14

4. IMPLEMENTACIJA MPLS USMJERAVANJA 17

4.1. Ciljevi implementacije MPLS mreže 17

4.2. Prednosti MPLS mreže 18

4.3. Usporedba IP i MPLS usmjeravanja 18

4.4. Arhitektura MPLS mreže 19

4.5. Pozicija MPLS-a u OSI modelu 22

5. MPLS operacije i aplikacije 23

5.1. Operacije u procesu usmjeravanja paketa u MPLS domeni 23

5.2. MPLS aplikacije 24

5.2.1 MPLS TE 24
5.2.2. MPLS QoS 24

5.3. Uspostava LSP-a 25

6. UPRAVLJANJE PROMETOM U MPLS MREŽAMA 26

6.1. Analitički primjer za usporedbu mrežnih performansi 27

6.1.1. Usporedba vremena kašnjenja MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja pri C=konst. i λ=konst. 30
6.1.2. Usporedba vremena kašnjenja MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja pri promjenjivom opterećenju i intenzitetu nailazaka paketa 32

6.1.3. Usporedba vremena kašnjenja MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja pri promjenjivom kapacitetu 33
7. ZAKLJUČAK 35
LITERATURA 36
POPIS SLIKA 38
POPIS TABLICA 38
POPIS KRATICA 39

1. UVOD

MPLS *(Multi-Protocol Label Switching*) je tehnologija koja osigurava tradicionalni model prosljeđivanja paketa kroz mrežu na mnogo brži i efikasniji način nego što su to uspijevale prijašnje tehnike.

Svrha ovog istraživanja je provođenje analize kvalitete usluga (*Quality of Service* - QoS) u MPLS mrežama. To uključuje prikaz osnovnih značajki višeuslužnih mreža i aplikacija koje pružaju, analizu problema osiguravanja kvalitete različitih usluga, usporedbu MPLS i IP (*Internet Protocol*) mehanizama usmjeravanja, analizu MPLS labela i njihovih značenja, analizu zaglavlja paketa u MPLS domeni i tablica rutiranja, mehanizama realizacije, te analizu postupaka implementacije mehanizama za osiguranje QoS-a, metoda mjerenja kvalitete usluge i upravljanja prometom u MPLS mrežama.

Cilj istraživanja jest kroz različite slučajeve upotrebe utvrditi pogodnost MPLS usmjeravanja i implementiranih mehanizama u ispunjavanju QoS zahtjeva određenih aplikacija. Pozitivni efekti implementacije MPLS usmjeravanja kvantificirani su kroz analitički primjer u kojemu su uspoređena postignuta vremena kašnjenja paketa u mreži s tradicionalnim metodama usmjeravanja paketa.

Materija diplomskog rada je podijeljena u šest cjelina:

1. Uvod
2. Višeuslužne mreže
3. Kvaliteta usluge
4. Implementacija MPLS usmjeravanja
5. MPLS operacije i aplikacije
6. Upravljanje prometom u MPLS mrežama
7. Zaključak.

U drugom poglavlju su opisane višeuslužne mreže, protokoli u višeuslužnim mrežama te arhitektura višeuslužnih mreža.

U trećem poglavlju je opisana kvaliteta usluge pri čemu su navedeni parametri kvalitete usluge i arhitektura kvalitete usluge.

U četvrtom poglavlju je opisana implementacija MPLS usmjeravanja, prednosti MPLS mreže, usporedba MPLS i IP usmjeravanja, arhitektura MPLS mreže, pozicija MPLS-a u OSI modelu.

U petom poglavlju su opisane MPLS aplikacije i operacije.

U šestom poglavlju je opisana mrežna topologija, te je napravljen analitički primjer usporedbe MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja preko vremena kašnjenja.

Na kraju rada su izneseni zaključci na temelju prethodno razrađene tematike.

2. VIŠEUSLUŽNE MREŽE, APLIKACIJE

Višeuslužne mreže MSN (*Multi Service Network*) se mogu definirati kao mreže za prijenos podataka za više od jedne vrste usluga i omogućavanje integracije različitih tipova usluga kao što su prijenos govora, podataka i multimedije. Prijenos se obavlja preko iste prijenosne infrastrukture neovisno o prijenosnom mediju. Ovako dizajnirana mreža mora stvoriti i osigurati uvjete kako bi se održala dovoljna razina kvalitete usluge za prijenos više od jedne aplikacije. Tradicionalne mreže ne pružaju dovoljnu iskorištenost resursa te se ustraje na paketskom načinu prijenosa podataka kojim se zamjenjuje komutacija kanala. Korisniku je potrebno omogućiti da mu u svakom trenutku budu dostupne željene usluge (aplikacije) uz zahtijevanu razinu kvalitete usluge. Karakteristike tradicionalnih mreža su bili visoki generirani troškovi i problemi tijekom nadzora i upravljanja svakom pojedinom mrežom. Prema [1] prednosti višeuslužnih mreža su:

- davatelj usluge ne mora biti sastavni dio mreže već može biti povezan na rubnim mjestima javne prijenosne mreže,
- sva inteligencija koja je potrebna za upravljanje i signalizaciju se nalazi u samoj mreži,
- prijenosna mreža je optimirana za prenošenje i komutiranje velike količine podataka,
- prisutni su različiti pristupni mediji kao što su bakreni vodovi, LDMS (*Local Multipoint Distribution Service*) i mobilni sustavi.

Sva komunikacija između poslužitelja i prijenosnog sloja se temelji na otvorenim standardiziranim protokolima. Protokoli su opisani u poglavlju 2.2.

2.1. Povijesni razvoj višeuslužnih mreža

Razvoj višeuslužnih mreža je započeo 80-tih godina prošlog stoljeća kada se počelo razmišljati o uvođenju novih rješenja kako bi se mreža unaprijedila. Povod tome su bili nedostaci klasične PSTN (*Public Switched Telephone Network*) mreže koji su se počeli sve više isticati, a to je nemogućnost inteoperabilnosti više simultanih usluga poput digitalnog prijenosa govora i podataka. Došlo se do zaključka kako se unaprjeđenje mora bazirati na optici kako bi se uklonili prijašnji nedostaci.

Stvoreni su novi standardi za transmisiju SONET (*Synchronous Optical Network*), multipleksiranje SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) i komutaciju ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). Time je integrirana nova mreža pod nazivom ISDN (*Integrated Services Digital Network*), a operatorima je omogućena implementacija ATM jezgrene mreže na kojoj su bile moguće govorne usluge i prijenos podataka komutacijom ćelija.

Daljnim razvojem tehnologije postali su vidljivi određeni nedostaci kod ATM jezgrene mreže kao što su cijene uređaja, održavanje, prevelika zaglavlja kod ATM ćelija te je došlo do faze gdje se ATM komutacija želi zamijeniti proizvodima koji se temelje na IP-u (*Internet Protocol*).

Telekomunikacijske mreže bazirane na IP (eng. *Internet Protocol*) tehnologiji postale su osnovi alat svake poslovne organizacije. O njenoj učinkovitosti direktno ovise i poslovni uspjesi i rezultati. IP mreže koriste se za prijenos svih podataka, od Internet prometa, glasovnih i video usluga do kritičnih poslovnih podataka. Uloga mehanizama QoS (eng. Quality of Service) postaje vrlo važna kako bi se različitim vrstama prometa pružio odgovarajući tretman.

2.2. Protokoli u višeuslužnim mrežama

Važniji protokoli u višeuslužnim mrežama su sljedeći:

- SIP (*Session Initiation Protocol*),
- RTCP (*Real-time Transport Control Protocol*),
- QoS signalizacijski protokoli.

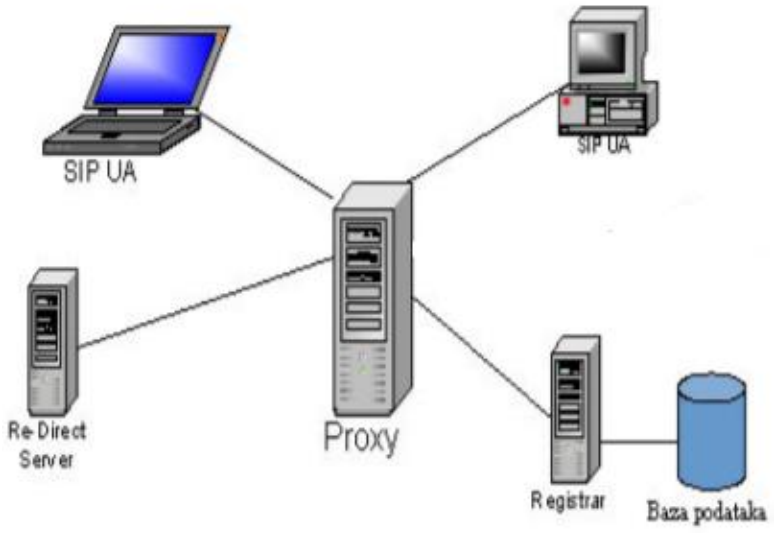
2.2.1. SIP (Session Initiation Protocol)

Kao što i samo ime kaže, SIP protokol je namijenjen za upravljanje sesijom u višeslužnim mrežama. Cilj ovog protokola je uspostava i održavanje sesije između dva ili više sudionika u komunikaciji. Sve usluge koje zahtijevaju uspostavu sesije zahtijevaju i određeni stupanj kvalitete usluge, ali SIP ne može samostalno odgovoriti na zahtjeve takvih usluga, a ne može ni osigurati odgovarajuću razmjenu QoS signalizacijskih informacija. SIP predstavlja protokol aplikacijskog sloja TCP/IP protokolnog složaja koji se koristi za uspostavu, promjenu i raskid sesije s jednim ili više sudionika u mrežama temeljenih na protokolu IP. Ovaj protokol je prihvatilo i organizacijsko tijelo 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) u standardizacijskom dokumentu TS 23.228 kao glavni protokol za upravljanje višemedijskim uslugama sljedeće generacije. Izbor protokola je temeljen na činjenici da su telekomunikacijske

usluge podložne zahtjevima za promjenama u cilju unaprjeđivanja novih usluga. Prema [2] postoji šest različitih vrsta zahtjeva u SIP-u:

- INVITE – metoda koja pokazuje da je korisnik pozvan da sudjeluje u nekoj sesiji. Za razgovor između dvije osobe pozivatelj šalje podatke o vrsti medija koje može primiti kao sve ostale parametre.
- ACK – potvrđuje da je klijent primio završni odgovor na INVITE zahtjev. Ova metoda se koristi samo s INVITE zahtjevom.
- BYE – klijent koristi BYE za slanje poruke poslužitelju da želi prekinuti komunikaciju.
- CANCEL – poništava sljedeći zahtjev, ali ne utječe na izvršene.
- OPTIONS – sadrži informacije o mogućnostima poslužitelja ali ne uspostavlja vezu.
- REGISTER – prenosi informacije o lokaciji korisnika do SIP poslužitelja.

Na slici 1 su prikazani osnovni SIP mrežni elementi.



Slika 1. Osnovni SIP mrežni elementi [3]

2.2.2. RTCP protokol

RTCP protokol podržava veliki broj funkcionalnosti uključujući kontrolu RTP sesija, nadzor kvalitete i sinkronizaciju više RTP tokova medija. Temelji se na periodičkom prijenosu kontrolnih paketa između svih sudionika sesije, a primarna funkcija mu je osigurati povratne informacije o kvaliteti prijema vremenski osjetljivih podataka upotrebom izvještaja pošiljatelja i primatelja. Korištenjem upravljačkih poruka RTCP protokol obavlja prikupljanje i razmjenu statističkih podataka kao što su ukupan broj prenesenih RTP paketa i okteta, kašnjenje paketa i

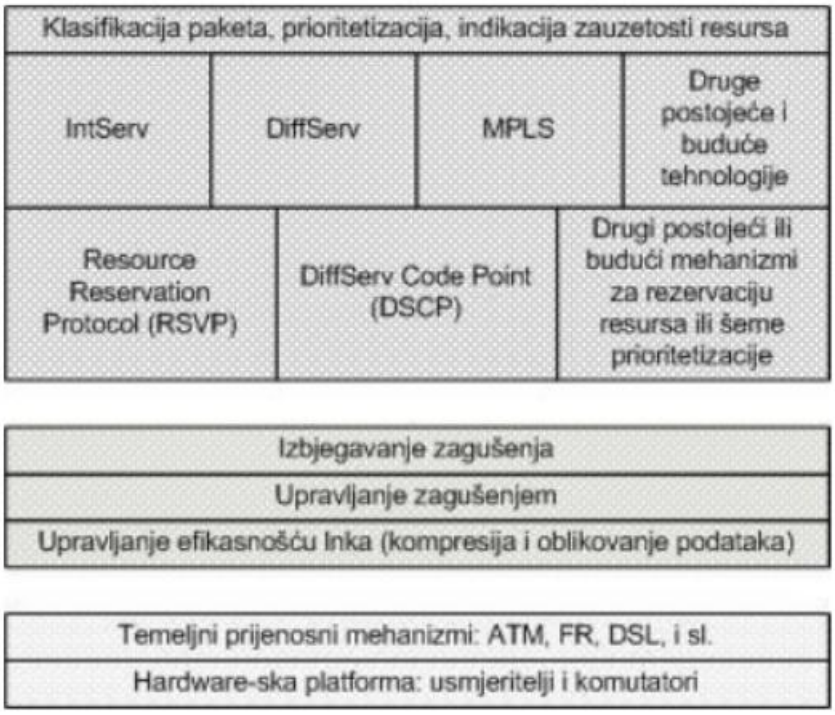
slično. Prikupljenim informacijama pošiljatelj se može prilagoditi dinamičkim promjenama mreže, a primatelj utvrditi zagušenje mreže. Prijenos detaljnih informacija i uključivanje dodatnih statističkih podataka u RTCP se ostvaruje korištenjem proširenog izvještaja koji osigurava operatorima dodatne informacije. Zadaća RTCP protokola je osigurati povratnu informaciju sudionicima sesije koristeći mehanizme distribucije koji se koriste za prijenos vremenski osjetljivih podataka te je stoga neophodno omogućiti pravovremen i pouzdan prijenos ovih poruka. Upravljanje zagušenjem je odgovornost protokola koji se nalaze ispod RTP/RTCP sloja u mrežnom sloju.

2.2.3. QoS signalizacijski protokoli

Prethodna dva protokola ne mogu funkcionirati bez QoS signalizacijskih protokola. Sve aplikacije imaju različite zahtjeve za kvalitetom usluge. Korisnik definira zahtjevani QoS pomoću parametara QoS-a te kreira ugovor s mrežnim operaterom. Zahtjevi za QoS-om pri prijenosu podataka su sljedeći:

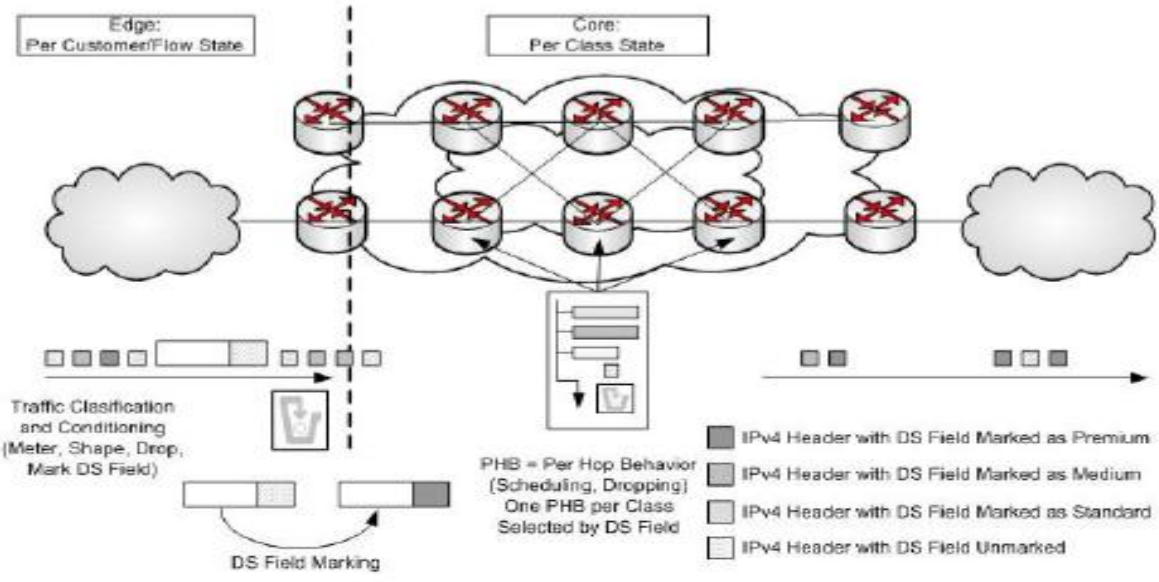
- postoje razne vrste podatkovnih aplikacija,
- *best effort* – osnovna klasa za sav podatkovni promet (HTTP)
- *bulk data* (sinkronizacija baza, e-mail, FTP),
- transakcijski podatkovni promet,
- potrebna adekvatna jamstva kapaciteta poveznice,
- *mission-critical data*,
- transakcijski podatkovni promet koji zahtjeva uslugu premium.

Na slici 2 je prikazana QoS podrška.



Slika 2. QoS podrška [4]

rješenja za osiguranje QoS u IP mrežama je *DiffServ* arhitektura koja predstavlja efikasno i stabilno rješenje. U svrhu optimiranja resursa, ova arhitektura se kombinira s MPLS tehnologijom koja omogućuje funkcionalnosti kao što su rezervacija resursa, tolerancija na pogreške i optimizacija iskorištenosti resursa. Integracija *DiffServ* i MPLS arhitekture predstavlja povoljno rješenje problema osiguranja QoS za višemedijski promet uz efikasno iskorištenje mrežnih resursa. Na slici 3 je prikazana DiffServ arhitektura.



Slika 3. *DiffServ* arhitektura [4]

Rubni usmjeritelji pridružuju DSCP oznaku (*Differentiate Services Codepoint*) paketima na ulaz u *DiffServ* mrežu. Danas se koriste tri standardizirana signalizacijska protokola u višeuslužnim mrežama, a to su:

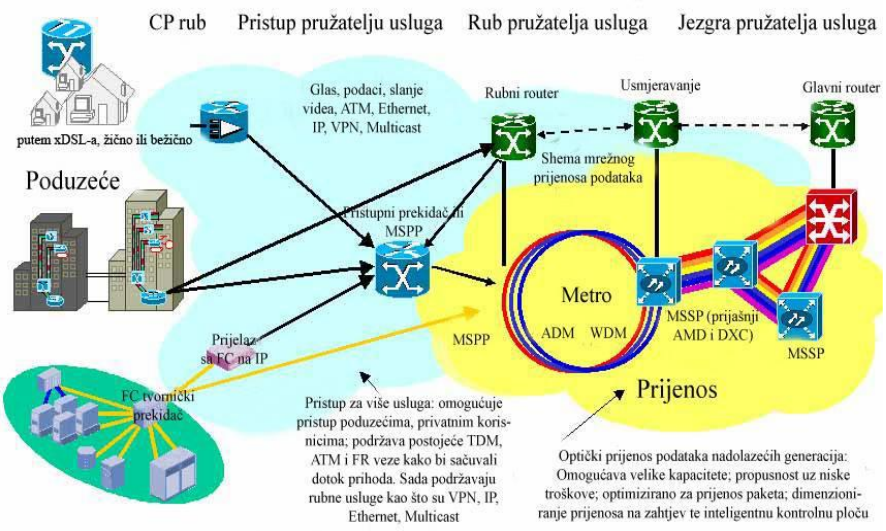
- LDP (*Label Distribution Protocol*),
- CR-LDP (*Constraint-based Routing Label Distribution Protocol*),
- RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering*).

CR-LDP i RSVP-TE omogućuju uspostavu LSP-a (*Label Switched Path*), rezervaciju propusnog opsega za LSP i LRR (*Fast Rerouting*) mehanizme što predstavlja ključ za ispunjavanje QoS zahtjeva. RSVP-TE je najčešće korišteni signalizacijski protokol višeuslužnih mreža, dok LDP pruža samo osnovne funkcionalnosti.

2.3. Arhitektura višeuslužnih mreža

Porast podatkovnog prometa je značajno utjecao na postojeću arhitekturu telekomunikacijske mreže. Konvergencija mreža (konsolidacija fiksne i pokretne mreže), usluga (*triple-play*, povezivost preko WLAN/2G/3G) i korisničke opreme je budućnost višeuslužnih mreža. Pojam vertikalnosti i horizontalnosti kod same arhitekture mreža naznačuje promjene u komutaciji, prijenosu i pristupnom dijelu mreža. Cilj mreža nove generacije da se arhitektura koja je danas vertikalno orijentirana okrene prema horizontalnom zasnivajući se na visokoj razini zajedničkih resursa kod prijenosa, kontrole i usluge.

U počecima se arhitektura temeljila na fizičkoj, odnosno električnoj razini mrežne usluge. Na slici 4 je prikazana arhitektura mreže. Noviji pristupi su zahtjevali cjelovito tretiranje komunikacije između terminala tako da se integralno tretiraju transmisijski i aplikacijski orijentirane funkcije.



Slika 4. Arhitektura višeuslužnih mreža

U današnje vrijeme koristi se slojeviti pristup organizaciji svih komunikacijskih funkcija. Prema modelu OSI RM (*Open System Interconnection Reference Model*), svaki otvoreni sustav je moguće opisati pomoću skupa slojeva vertikalno poredanih od najnižeg prema najvišem. Pri tome je potrebno odrediti broj slojeva i funkcije koje će se u slojevima obavljati. Slojevi se mogu proširivati i nadograđivati te se s ovakvom infrastrukturom pridonosi da se protokoli i mrežne usluge lakše razumiju čime se povećava i sama kvaliteta usluge [5]

Postoje osnovni principi kojima se određuju granice između slojeva i broja slojeva, a to su:

- svaki sloj treba izvesti vrlo dobro definiranu funkciju,
- granice između slojeva trebaju biti definirane kako bi se smanjio tok informacija između sučelja,
- funkcija svakog sloja treba biti izabrana prema dobro definiranim međunarodnim protokolima,
- veliki broj slojeva daje jasniju sliku pri rasčlanjivanju procesa u mreži,
- u slučaju potrebe za različitom razinom apstrakcije treba posegnuti za kreiranjem novog sloja.

OSI model ima sedam komunikacijskih slojeva i sučelja među njima. Svrha samog modela je omogućavanje modularnosti opreme u komunikacijskom lancu i interoperabilnost opreme različitih proizvođača. U tablici 1 je prikazan odnos između OSI referentnog modela i TCP/IP protokolnog složaja.

Tablica 1. OSI referentni model [5]

<table>
<tr><th>OSI</th><th>TCP/IP</th></tr>
<tr><td>Aplikacijski sloj</td><td rowspan="3">Aplikacijski sloj</td></tr>
<tr><td>Prezentacijski sloj</td></tr>
<tr><td>Sloj sesije</td></tr>
<tr><td>Transportni sloj</td><td>Transportni sloj</td></tr>
<tr><td>Mrežni sloj</td><td>Internet sloj</td></tr>
<tr><td>Podatkovni sloj</td><td rowspan="2">Sloj pristupa mreži</td></tr>
<tr><td>Fizički sloj</td></tr>
</table>

Slojevi prikazani u tablici 1 obavljaju sljedeće funkcije:

- aplikacijski sloj – procesi koji su prilagođeni korisničkom okruženju,
- prezentacijski sloj – odnosi se na sintaksu i semantiku podataka te omogućuje prikaz i predstavljanje u različitim tipovima podataka kako bi se računalo i mreža mogli razumjeti,
- sloj sesije– osigurava strukturu za komuniciranje između aplikacija,
- transportni sloj – pouzdan prijenos podataka između krajnjih komunikacijskih točaka odnosno s kraja na kraj mreže,
- mrežni sloj – određuje prijenosne puteve te uspostavlja, održava i raskida veze,
- podatkovni sloj – omogućava pouzdani prijenos informacija preko linka, pakiranje podataka u okvire i kontrolu pogrešaka,
- fizički sloj – podrazumijevaju se mehaničke, električne, funkcijske i proceduralne karakteristike koje omogućuju prijenos slijeda bita kroz fizički medij.

3. KVALITETA USLUGE

Sve usluge zahtijevaju određeni stupanj kvalitete (QoS), te je u tu svrhu definiran RTCP s primarnim ciljem da osigura povratnu informaciju o kvaliteti dostavljanja vremenski osjetljivih usluga. RTCP ne garantira QoS za vremenski osjetljive usluge iako se temelji na periodičkoj razmjeni kontrolnih paketa između svih sudionika sesije.

3.1. GoS (*Grade of Service*)

Ciljevi razine usluge se koriste kako bi se osigurale mjere adekvatnosti grupe resursa pod specificiranim uvjetima. GoS se odnosi na dio mrežnih performansi NP (*Network Performance*) koje su povezane prometom i definiraju se kao sposobnost mreže ili dijelova mreže pri osiguravanju funkcije koje se odnose na komunikaciju između korisnika. Ciljevi tih mrežnih performansi su izvedeni iz zahtjeva kvalitete usluge QoS koji predstavlja skup performansi usluge koje određuju stupanj zadovoljstva korisnika uslugom [17].

Glavni problem koji se javlja u određivanju QoS standarda je raspodjela pojedine vrijednosti na svaki mrežni element i to na način da se postigne ciljna vrijednost kvalitete usluge od kraja do kraja. Sama kvaliteta usluge i pojmovi koji je opisuju predstavljaju važne elemente pružanja bilo koje usluge. Za profesionalno upravljanje QoS-om u telekomunikacijama, od velike važnosti je razumijevanje koncepta kvalitete i upravljanja kvalitetom.

3.2. Parametri kvalitete

Svaka usluga zahtijeva različite mrežne kapacitete i sadrži različite iznose izgubljenih paketa, širinu prijenosnog pojasa, kašnjenje i varijacije kašnjenja. Ovi parametri se nazivaju i mrežni QoS parametri, a mogu se svrstati u QoE (*Quality of Experience*) pokazatelje s obzirom na to kako se radi o parametrima koji izravno utječu na zadovoljstvo korisnika.

3.2.1. Propusnost

Propusnost predstavlja maksimalnu brzinu prijenosa koja se može postići između dva kraja mreže i mjeri se u bitovima po sekundi. Određuje koliko podataka može proći kroz međupropusni kanal u bilo kojem trenutku. Neodgovarajuća propusnost povećava kašnjenje paketa te oni provode više vremena u redovima čekanja mrežnih uređaja. Ukoliko je mreža jako zagušena, paketi se mogu izgubiti ako je propusnot neodgovarajuća. Propusnost je određena načinom implementacije fizičkog i logičkog sloja, te samom organizacijom konekcija unutar mreže.

Za propusnost nije samo bitan kapacitet kanala, već i broj tokova podataka koji dijele zajedničku infrastrukturu između dvije krajnje točke. Opseg jednog toka se može podijeliti na dva načina:

- opseg u terminu uspješno prenesenih paketa,
- opseg u terminu prenesenih bajta.

Opseg u terminu uspješno prenesenih paketa je jednak odnosu ukupnog broja uspješno prenesenih paketa u promatranom vremenu, dok opseg u terminu prenesenih bajta predstavlja ukupni broj okteta koji su uspješno preneseni u promatranom vremenu.

3.2.2. Kašnjenje

Kašnjenje je vrijeme prijenosa paketa između dvije točke u mreži. Kašnjenje ovisi o sljedećim parametrima:

- vremenu propagacije signala kroz medij te o vrsti medija, te se na ovu komponentu kašnjenja može utjecati na fizičkoj ili logičkoj razini,
- vremenu procesiranja paketa na čvorovima mreže, odnosno potrebnom vremenu za razmjenu paketa između međuspremnika, obradu adresnih polja, ažuriranje paketa u sekvencu na prijemniku i tako dalje,
- vremenu čekanja paketa u redovima koji ovise od usvojene strategije posluživanja redova na usmjerivaču, načinu upravljanja redova i trenutnom prometnom opterećenju.

Isto tako, postoje i dvije vrste kašnjenja:

- fiksno kašnjenje uključuje komponente kao što su serijalizacija, kodiranje, dekodiranje i propagacijska kašnjenja,
- promjenjivo kašnjenje je najčešće posljedica zagušenja i uključuje vrijeme koje paketi provode u mrežnim usmjerivačima dok čekaju pristup prijenosnom mediju.

3.2.3. Varijacije kašnjenja

Varijacije kašnjenja su razlike u vremenima kašnjenja paketa koji pripadaju istom toku, odnosno to su mjere apsolutne vrijednosti prvog izvoda sekvence pojedinačnih izmjerenih kašnjenja. Takve varijacije nastaju zbog različitih faktora kao što su vrijeme obrade paketa ili različita dužina redova čekanja.

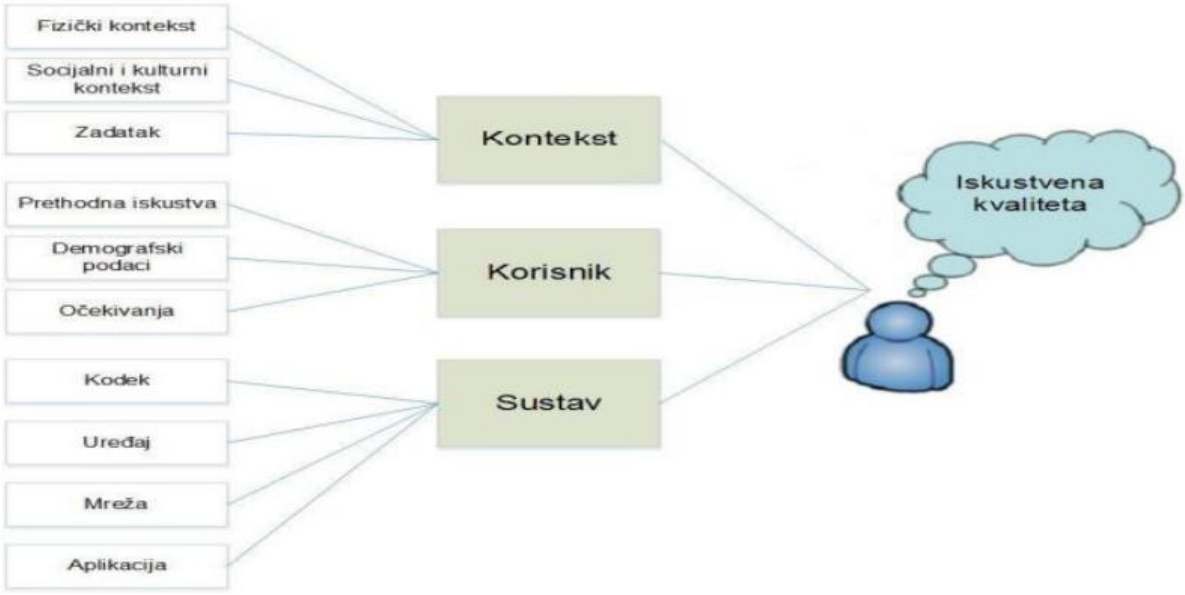
3.2.4. Gubici

Gubici nastaju zbog grešaka u prijenosu, oštećenih paketa ili zbog zagušenja u mreži, a predstavljaju postotak paketa koji ne stignu na odredište. Kada u mreži dođe do zagušenja, pojedini segmenti poruke se odbacuju zbog preopterećenja međuspremnika ili prekoračenja graničnog kašnjenja. Gubici na nižim slojevima su posljedice smetnji u kanala i označavaju se s BER (*Bit Error Rate*).

BER predstavlja omjer broja pogrešno prenesenih bita u promatranom vremenu i ukupnog broja prenesenih bita u promatrom vremenu. Može biti transmisijski i informacijski. Transmisijski BER predstavlja broj pogrešno primljenih bitova u odnosu na ukupni poslani broj, dok informacijski BER predstavlja broj dekodiranih bitova u odnosu na ukupan broj dekodiranih bitova. BER je dobar parametar samo za prva dva sloja mreže. Zadovoljavajuća kvaliteta se postiže malim gubicima ali se moraju promatrati i periodi gubitaka. U određivanju uzroka gubitaka vrlo često pomaže praćenje parametra, vrijeme gubitaka.

3.2.5. Iskustvena kvaliteta QoE

Iskustvena kvaliteta usluge je koncept koji se bavi mjerenjem korisničkog zadovoljstva korištenjem određene usluge, odnosno korisnički usmjeren koncept kojim se pokušava shvatiti korisničku percepciju usluge kako bi se povećalo zadovoljstvo korisnika uslugom. Nije moguće stvoriti model za mjerenje iskustvene kvalitete koji bi vrijedio za sve usluge, ali se može definirati više pojedinih modela koji služe za mjerenje iskustvene kvalitete za različite tipove usluga. Na slici 5 su prikazani utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika.



Slika 5. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika [6]

3.3. Arhitektura kvalitete usluge

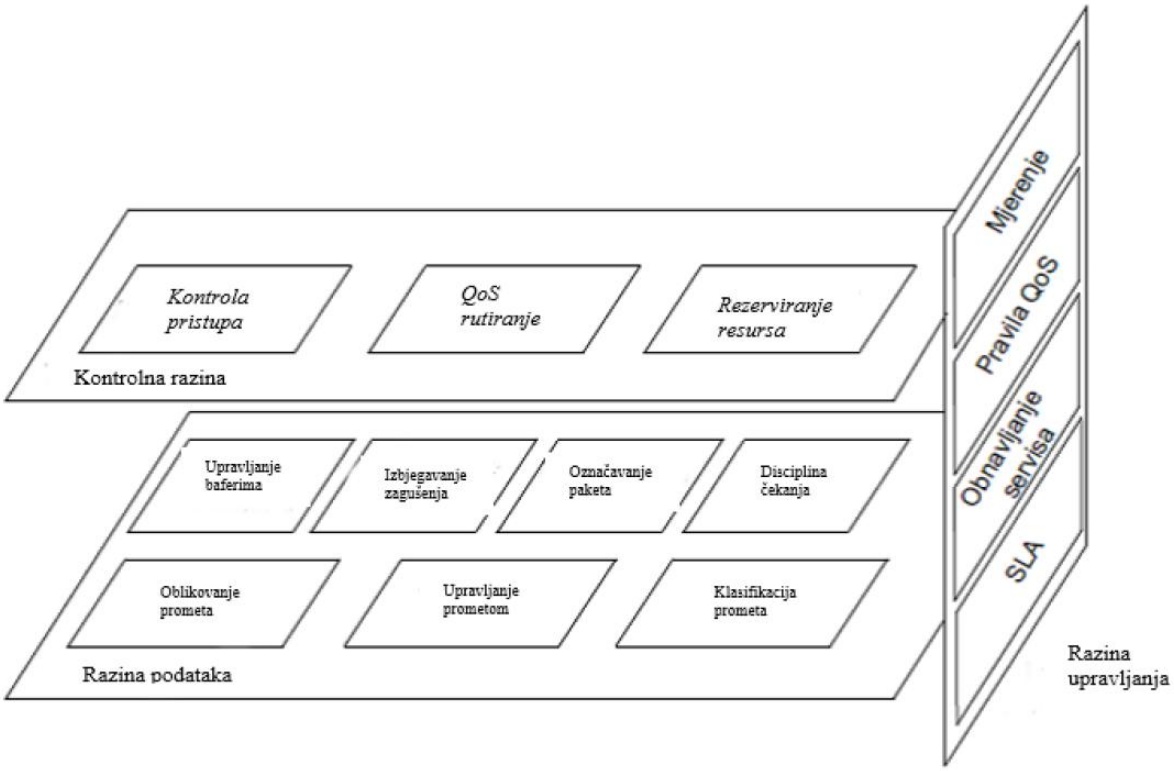
Za osiguravanje QoS-a potrebna je kontrola pristupa, izbjegavanje zagušenja, upravljanje resursima, odgovarajući signalizacijski protokoli, protokoli za usmjeravanje, *gateway* protokoli koji omogućavaju komunikaciju između fiksne i bežične mreže te transportni protokoli. Od velike je važnosti raspodijeliti sistemske i mrežne resurse i uspostaviti odgovarajuću QoS arhitekturu s pripadajućim mehanizmima koji ne trebaju biti vidjivi korisnicima jer je korisniku samo bitno da usluga bude kvalitetna. Pristup integracije podrazumijeva kako QoS mora imati mogućnost konfiguriranja, predviđanja i održavanja kako bi se ostvarile zahtjevane performanse s kraja na kraj, dok princip separacije podrazumijeva nužno razlikovanje funkcija prijenosa, kontrole i upravljanja. Važno je utvrditi po kojem principu će se implementirati sustavi koji podržavaju QoS koncept. Osnovna namjera arhitekture je definirati generičke mrežne mehanizme koji kontroliraju odgovor mreže na zahtjeve za uslugom. Nove arhitekture donose niz novih koncepata koji su važni za podršku QoS-a u mreži [7]:

- novi modeli usluga za internet pokraj *best-effort,*
- okviri za raspodjelu resursa koji podržavaju osiguranje resursa i različitost servisa.

Arhitektura se sastoji od tri razine [7]:

- kontolna razina – sadrži mehanizme koji se odnose na putanje prometa korisničkih podataka, odnosno upravljanje putevima prijenosa podataka,
- razina upravljanja – sadrži mehanizme koji se odnose na postupanje, administriranje i upravljanje aspektima prometa korisničkih podataka,
- podatkovna razina – sadrži mehanizme koji se neposredno primjenjuju na promet korisničkih podataka.

Na slici 6 je prikazana arhitektura kvaliteta usluge.



Slika 6. Arhitektura kvalitete usluge [8]

Mehanizmi kontrolne razine su odgovorni za konfiguriranje mrežnih čvorova, odnosno definiranje skupa procedura koje se koriste u čvoru s ciljem izvršavanja odgovarajuće obrade paketa. Kontrola razine obuhvaća pristup, rezerviranje resursa i QoS usmjeravanje. Koji promet će se pustiti u mrežu, određen je kontrolom pristupa koji može biti parametarski ili mjerno zasnovan. Kod parametarskog pristupa, kao glavni kriteriji se uzimaju najgori slučajevi parametara kvalitete usluge, dok se kod mjerno zasnovanog pristupa koriste trenutno mjerene vrijednosti parametara kvalitete usluge. Mehanizmi kontrole pristupa su izravno povezani s mehanizmima rezervacije, te oni moraju uzajamno raditi kako bi se osigurao stvarni QoS. Usmjeravanje obuhvaća određivanje puta kojim će se zadovoljiti korisnički zahtjevi za kvalitetom usluge. Postoji veliki broj strategija usmjeravanja koje su razvijene s ciljem smanjenja složenosti problema.

Pravila QoS-a predstavljaju skup propisa za administriranje, upravljanje i kontroliranje pristupa mrežnim resursima. Obnavljanje prometa se definira kao reakcija mreže u uvjetima kvara, te ju je potrebno razmatrati na svim slojevima. Mehanizmi upravljanja redovima rade s paketima koji čekaju na prijenos i donose odluke o spremanju ili odbacivanju tih paketa. Rješenja o upravljanju usmjerivačima se razlikuju najviše u kriterijima odbacivanja paketa i

izboru paketa koji će biti odbačeni. Postoji nekoliko disciplina odbacivanja kojima se odlučuje koje pakete odbaciti, a to su:

- *droptail* koji odbacuje novopristigle pakete i to je najraširenija strategija,
- *front drop* koji čuva novopristigle pakete na račun onih koji najduže čekaju u redu,
- *random drop* koji čuva novopristigle pakete na redu čekanja, uz odbacivanje slučajno izabranog paketa iz reda.

Izbor paketa koji se isporučuju u izlazne linkove kontroliraju mehanizmi raspoređivanja paketa. Nekoliko je glavnih pristupa a to su:

- FIFO (*First in first out queuing*),
- FQ (*Fair Queuing*),
- PQ (*Priority queing*),
- WFQ (*Weighted Fair Queuning*),
- CBQ (*Class Based Queuing*).

4. IMPLEMENTACIJA MPLS USMJERAVANJA

Multi-Protocol Label Switching (MPLS) ili višeprotokolno komutiranje labela je tehnologija koja osigurava tradicionalni model prosljeđivanja paketa kroz mrežu, na mnogo elegantniji, efikasniji i brži način nego što su to uspijevale prijašnje tehike poput ATM-a ili Frame Relay-a. Bitna prednost tog postupka je da se informacije iz zaglavlja paketa analiziraju samo jednom, a dalje se postupak usmjeravanja paketa zasniva samo na provjeravanju labela koje zapravo predstavljaju identifikacijske oznake paketa i fiksne su duljine. MPLS mehanizmi predstavljaju moćan alat za osiguranje kvalitete usluge prema krajnjim korisnicima uz optimalno iskorištavanje mrežnih resursa.

4.1. Ciljevi implementacije MPLS mreže

Cilj razvoja MPLS-a je postizanje poboljšanja u vidu propusnosti i kašnjenja kod usmjeravanja temeljenom na IP-u. U mnogobrojnim pokušajima kombinacije IP i ATM tehnologije, sredinom 90-tih godina je došlo do razvoja MPLS mreže. Temeljili su se na sličnom pristupu, odnosno koristili su OSPF (*Open Shortest Path First*) protokol kojim su dodijeljivali pakete u mreži u kojoj se nalaze ATM komutatori koji su odgovorni za usmjeravanje. Drugi ciljevi razvoja MPLS mreže su bili:

- spajanje glasa, videa i aplikacija preko jedne IP mreže,
- mogućnost primjene IP mreža u smislu zadovoljavanja sve većih zahtjeva za IP prometom,
- omogućavanje diferencijalnih razina usluga baziranih na IP-u,
- virtualne privatne mreže.

S obzirom na to kako postoje aplikacije koje su osjetljive na veća kašnjenja, razvila se i potreba za uvođenjem MPLS tehnologije. Ovom tehnologijom se žele izbjeći nedostaci koji se pojavljuju kod tradicionalnog usmjeravanja. Tehnikom zamjena labela tijekom prijenosa paketa kroz mrežu, MPLS analizira zaglavlja paketa jednom za razliku od tradicionalnog kod kojeg se analiza provodi pri svakom koraku od usmjerivača do usmjerivača. Znatno je kraće vrijeme procesuiranja informacija u usmjerivačima u odnosu na IP tehnologiju, što će biti demonstrirano na analitičkim primjerima koji se nalaze u X poglavlju. Ovakvi usmjerivači se nazivaju LSR (*Label Switch Router*) koji obavljaju pregled i zamjenjuju stare oznake, što predstavlja efikasnije i brže usmjeravanje.

4.2. Prednosti MPLS mreže

Tehnologija MPLS ima mnogobrojne prednosti u odnosu na druge opcije usmjeravanja podataka u mreži. Neke od prednosti su sljedeće:

- funkcionira i omogućava prijenos koji se bazira na okvirima i ćelijama,
- sposobnost izgradnje MPLS mreže u već postojeće mreže,
- podržava nekoliko aplikacija i može biti proširena u više segmenata kao što su MPLS i IP usmjerivači, QoS podrška za serijski orijentirane usluge, prometno inženjerstvo, kompatibilnost VPN (*Virtual Private Network*), ATM, višeuslužni preklopnici i optički preklopnici,
- MPLS integrira brzinu i performanse značajki drugog sloja sa stabilnošću i inteligencijom trećeg sloja,
- tehnologija nije limitirana na bilo koji posebni protokol što omogućuje konsolidaciju višeslojnih tehnologija,
- sposobnost mreže da prilagodi veći broj korisnika s MPLS tehnologijom,
- podrška za beskonačno slaganje labela,
- tehnikom prosljeđivanja labela omogućava se brže i jednostavnije usmjeravanje za razliku od usmjeravanja temeljenog na IP usmjeravanju,
- smanjuje se vrijeme obrade procesa i povećava učinkovitost.

4.3. Usporedba IP i MPLS usmjeravanja

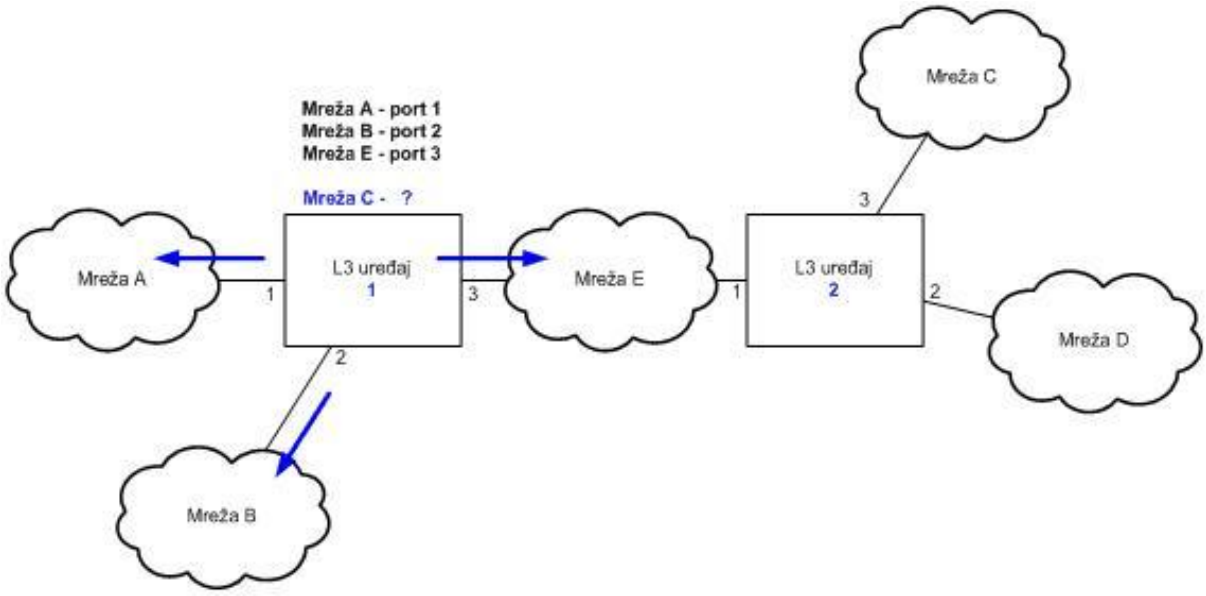
S obzirom na prethodno spomenute prednosti MPLS usmjeravanja u odnosu na IP usmjeravanja, u nastavku je opisano usmjeravanje temeljeno na IP protokolu. IP protokol funkcionira tako da prima podatke viših slojeva te im dodaje zaglavlje koje sadrži podatke o primljenim informacijama koje se dalje prosljeđuju idućem sloju OSI referentnog modela. Važna uloga je i slanje paketa u sljedeću točku usmjeravanja, a informacije se nalaze u zaglavlju paketa.

Tijekom usmjeravanja koji se temelji na IP protokolu, usmjernici sadrže vlastite tablice usmjeravanja. Sastoje se od jedne ili više destinacija usmjernika u mreži, a paket koji putuje kroz mrežu prosljeđuje usmjerniku koji gleda zaglavlje dolazećeg paketa. Zaglavlje sadrži informacije za određivanje sljedećeg susjednog čvora i tako sve dok paket ne stigne do odredišta. Nedostaci IP usmjeravanja su sljedeći:

- analiza zaglavlja paketa koja se izvodi pri svakom skoku kroz mrežu,

- nepouzdana, nekonekcijska isporuka,
- usmjeravanje u mrežnom sloju koje je sporije u odnosu na prosljeđivanje,
- ne koristi se dodatna metrika kod izračuna već se uobičajeno stvara najkraći put,
- zagušenje linkova povećava gubitak paketa, duža su kašnjenja i smanjena propusnost.

Na slici 7 je prikazano usmjeravanje u IP mreži.



Slika 7. Usmjeravanje u IP mreži [9]

U tablici 2 su prikazani parametri usporedbe IP i MPLS tehnologije.

Tablica 2. Usporedba IP i MPLS tehnologije

Parametar	IP	MPLS
Tip komunikacije	Ne spojna tehnika	Spojna tehnika
Smjer toka paketa	BI direkcionalan	UNI direkcionalna
Broj bitova pri transferu	100-1500 bitova	Varijabilna dužina paketa
Metoda prosljeđivanja	Prospajanje paketa	Prospajanje paketa i krugova
Efikasnost	Manja u odnosu na MPLS	Veća u odnosu na IP
Propagacijsko kašnjenje	Veće	Manje
Kašnjenje	Veće u odnosu na MPLS	Manje u odnosu na IP
Kompleksnost	Manje u odnosu na ATM	Manje u odnosu na ATM
Kvaliteta usluge	Manja razina u odnosu na MPLS	Veća razina u odnosu na IP
Kompatibilnost	Kompatibilan s MPLS ali ne s ATM	Kompatibilan s IP i ATM i budućim tehnologijama

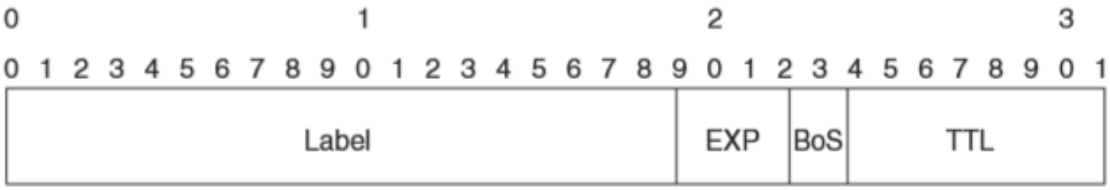
4.4. Arhitektura MPLS mreže

Glavni elementi MPLS mreže su:

- MPLS zaglavlje,

- LSR,
- LSP (*Label Switched Path*),
- NHLFE (*The Next Hop Label Forwarding Entry*),
- ILM (*Incoming Label Map),*
- FEC (*Forwarding Equivalence Class*),
- LDP (*Label Distribution Protocols*).

Zaglavlje MPLS se sastoji od 32 bita te se naziva umetnim zaglavljem jer se MPLS zaglavlje umeće iza zaglavlja podatkovnog sloja i ispred zaglavlja mrežnog sloja. Na slici 8 je prikazano MPLS zaglavlje.



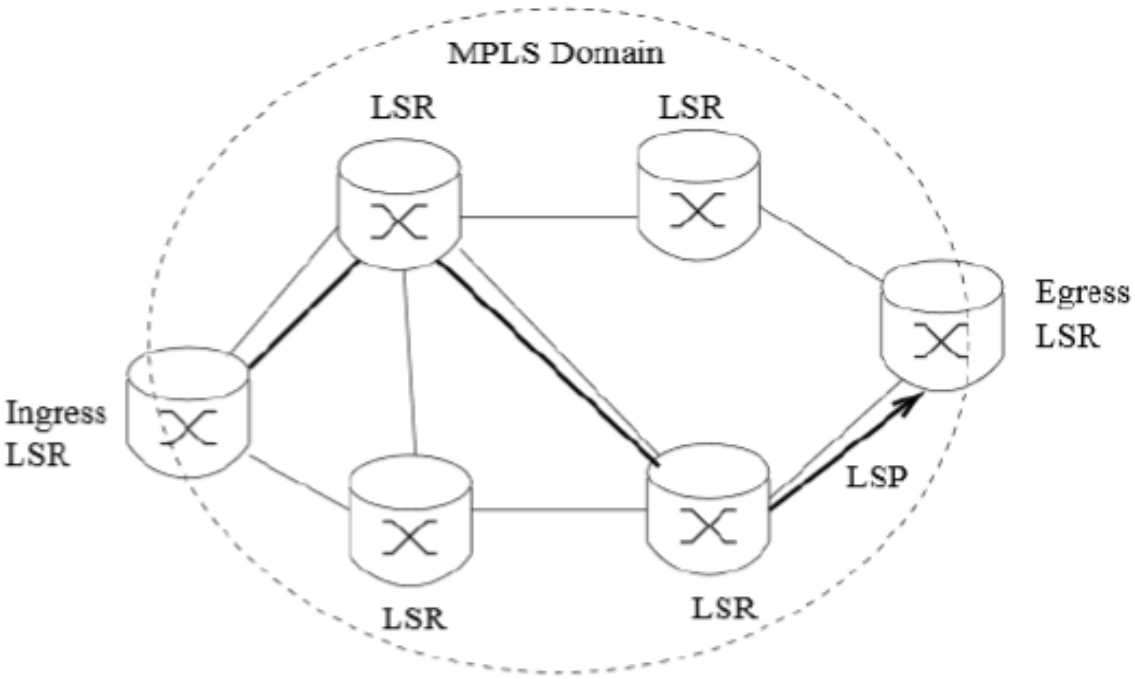
Slika 8. MPLS zaglavlje [11]

Dijelovi zaglavlja prikazani na slici 8 su:

- Oznaka (*Label*),
- EXP (*Eksperimental use*),
- BoS (*Bottom of Stack*),
- TTL (*Time To Live*).

Oznaka je polje veličine 20 bita i opisuje putanju koju paket prolazi do odredišta, dok je EXP polje veličine 3 bita i koristi se pri određivanju tretmana paketa. BoS opisuje zadnju labelu u nizu koja se može nadovezati jedna na drugu i veličine je jednog bita. TTL je polje koje opisuje životni vijek MPLS paketa, te se smanjuje za 1 tijekom prolaska kroz LSR. Ukoliko TTL iznosi nula prije odredišnog čvora, dolazi do odbacivanja paketa.

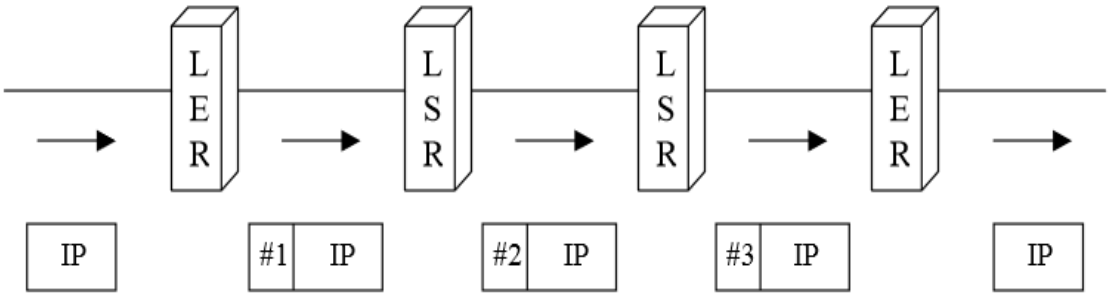
LSR je usmjerivač koji spada u fizički dio mreže koji podržava tehnologiju MPLS. Kompatibilan je s MPLS-om u pogledu primanja i transmisije označenih paketa na podatkovnom sloju. Na slici 9 su prikazane tri vrste LSR-a u mrežnoj domeni MPLS-a.



Slika 9. MPLS domena [11]

Ulazni LSR prima neoznačeni paket kojem dodaje oznaku i šalje ga u MPLS domenu, dok izlazni LSR prima označene pakete kojim uklanja oznaku i isporučuje pakete dalje. To su rubni LSR-ovi. Posredni LSR prima označeni paket i pregledava oznaku, uklanja staru oznaku i dodaje novu kako bi se paket proslijedio unaprijed definiranom polju.

LSP sadrži niz povezanih LSR-ova koji komutiraju označene pakete, odnosno putanju u MPLS mreži kojom putuju označeni paketi jedne veze. Na LSP-u je ulazni LSR prvi, a izlazni zadnji. Na slici 10 je prikazan prolazak paketa kroz LSP.

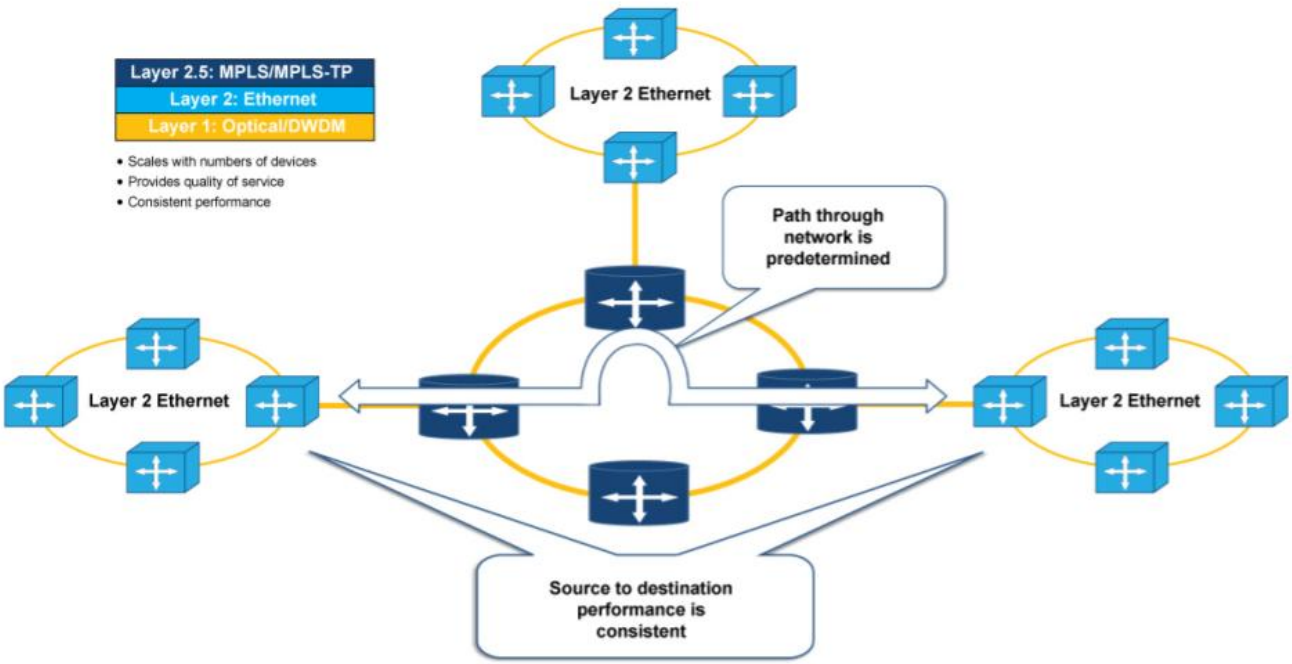


Slika 10. Prikaz prolaska paketa kroz LSP [12]

NHLFE sadrži informacije o sljedećem skoku paketa i koristi se pri prenošenju označenog paketa mrežom. Svaka oznaka paketa je povezana s NHFLE, dok ILM predstavlja mapu dolaznih oznaka, poznata i kao tablica prosljeđivanja labela koja opisuje mapiranje između labele dolazećeg paketa i skupa NHFLE. ILM je najsličnija s tablicom usmjeravanja kod IP usmjernika. FEC predstavlja tok paketa koji se prosljeđuju istom putanjom, a jednako su tretirani s postupkom prosljeđivanja. Paketi koji se nalaze u istom FEC-u, imaju iste oznake, ali oni paketi koji imaju iste oznake ne moraju pripadati istom FEC-u. Onaj usmjerivač koji odlučuje kojoj klasi pripada koji FEC je ulazni LSR koji klasificira i dodaje oznaku paketu. LDP se koristi u procesu postavljanja puta.

4.5. Pozicija MPLS-a u OSI modelu

MPLS tehnologija se u OSI referentnom modelu nalazi između drugog i trećeg sloja. Ima funkcije pojednostavljenog konekcijskog prosljeđivanja paketa na drugom sloju te fleksibilnost i skalabilnost trećeg sloja. Upravo se iz tog razloga ne može sa sigurnošću utvrditi pripada li MPLS mrežnom ili podatkovnom sloju. Na slici 11 je prikazana pozicija MPLS-a u OSI modelu.

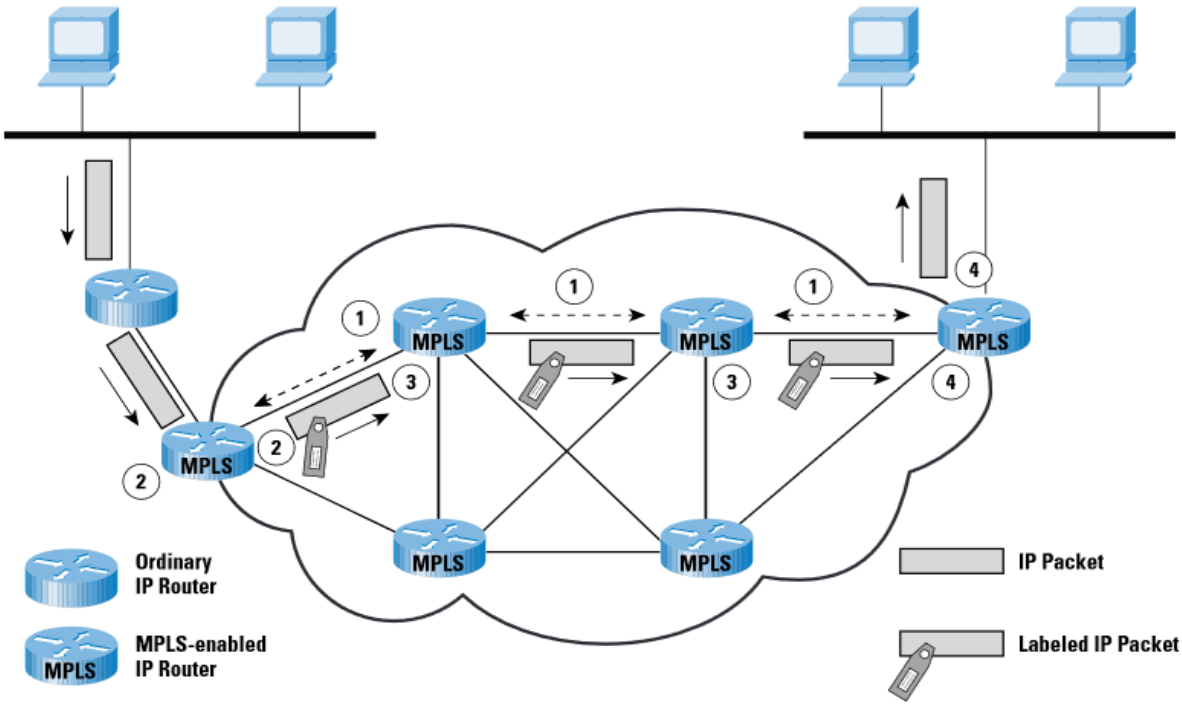


Slika 11. Pozicija MPLS-a u OSI referentnom modelu [13]

5. MPLS operacije i aplikacije

5.1. Operacije u procesu usmjeravanja paketa u MPLS domeni

Prema slici 12, operacije u procesu usmjeravanja paketa u MPLS domeni uključuju četiri koraka. Na slici 12 su prikazane MPLS operacije.



Slika 12. MPLS operacije [14]

Prema slici 12, prvotno moraju biti definirani putevi kroz mrežu (LSP) i moraju biti uspostavljeni parametri kvalitete usluge (QoS) tijekom tog puta. Parametri kvalitete određuju:

- koliko je potrebno resursa kako bi se uspostavio put,
- politiku čekanja i odbacivanja koja se mora uspostaviti u svakom LSR-u za pakete.

Kako bi se to ostvarilo, koriste se unutarnji protokoli usmjeravanja kao što su OSPF koji definira dostupnost odredišta i usmjeravanja informacija. Protokol LDP specificira eksplicitnu rutu i dodjeljuje odgovarajuće vrijednosti labela.

U drugom koraku paket ulazi u MPLS domenu kroz ulazni LSR gdje se procesuira kako bi se odredilo kojem mrežnom sloju usluga pripada, definirajući usluge. Odnosno, LSR dodjeljuje paket određenom FEC-u te određeni LSP dodajući oznaku paketu prosljeđuje paket.

U trećem koraku svaki LSR u MPLS domeni prima pakete i obavlja funkcije skidanja dolazeće labele i stavljanja prikladne odlazne labele na paket. U posljednjem koraku LSR čita zaglavlje IP paketa i prosljeđuje paket do odredišne destinacije.

5.2. MPLS aplikacije

Funkcionalnost aplikacije je podijeljena na kontrolni i podatkovni dio, a aplikacije se razlikuju u kontrolnom dijelu dok u dijelu prosljeđivanja koriste istu oznaku. Najvažnije MPLS aplikacije su:

- MPLS TE (*MPLS Traffic Engineering*),
- MPLS QoS (*MPLS Quality of Service*).

5.2.1 MPLS TE

MPLS TE predstavlja najvažniju aplikaciju MPLS-a. MPLS prometno inženjerstvo ima veliku ulogu u implementaciji mrežnih servisa koji zahtijevaju određene garancije za kvalitetu usluge (QoS). Mreže bazirane na MPLS tehnologiji koriste TE mehanizme kako bi se smanjila zagušenja u mreži i poboljšale perfomanse mreže. TE može izmijeniti postojeće sheme u svrhu efikasnijeg raspoređivanja prometnih tokova prema raspoloživim resursima. Svrha je smanjenje zagušenja u mreži i poboljšanje kvalitete usluge u vidu smanjenja kašnjenja tijekom postizanja paketa na odredište. Neke od glavnih funkcionalnosti MPLS TE su:

- izračunavanje puta,
- optimizacija resursa,
- distribucija informacija o linkovima,
- TE LSP signalizacija,
- MPLS prometno inženjerstvo s proširenjima za *DiffServ* arhitekturu,
- protekcijska shema u slučaju ispada nekog od linkova,
- tuneliranje i stavljanje labela.

5.2.2. MPLS QoS

Podrška za QoS kod MPLS-a je povezana s klasom usluga CoS. Osnovne funkcije su:

- klasifikacija prometa i označavanje,
- nadgledanje,
- stavljanje u redove i nasumično odbacivanje,
- raspoređivač,

- odašiljanje.

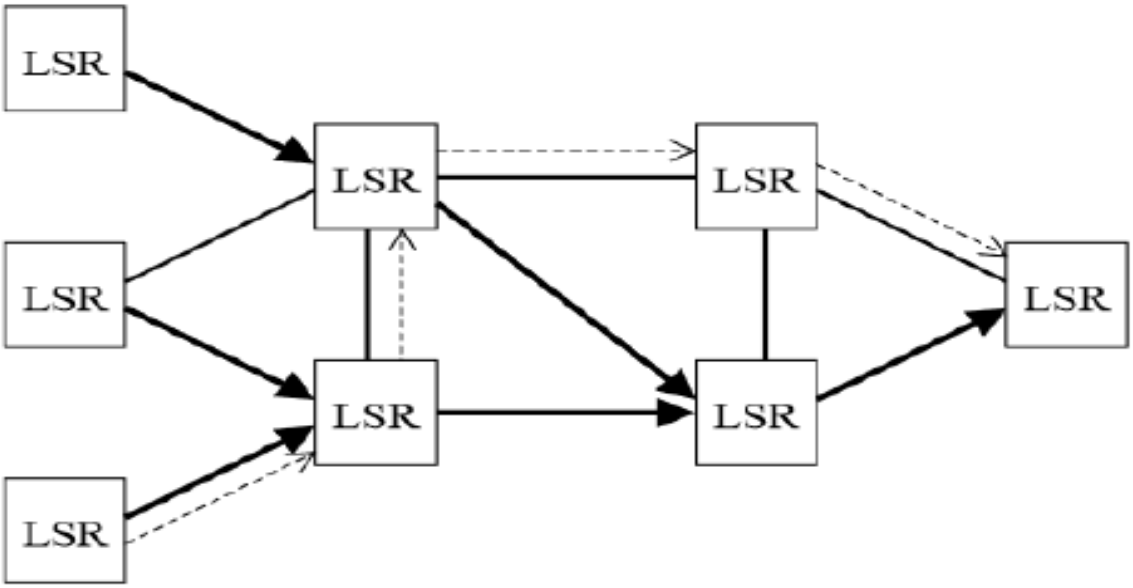
Klasifikacija se provodi s obzirom na to da postoje različite vrste aplikacija te ih je potrebno na pravilan način tretirati u mreži. Kriteriji su izvorišna i odredišna adresa, tip protokola i aplikacije. Nadgledanje je postupak provjere poštivanja ugovora dolazećeg prometa, a odnosi se na interval i brzinu slanja. Kako ne bi došlo do odbacivanja, različiti prometni tokovi se slažu se slaže u redove.

5.3. Uspostava LSP-a

Uspostava LSP-a je inicirana od strane izvorišnog usmjernika na kojem je odredišna adresa tunela koja je najčešće lokalna adresa. RSVP komponenta signalizira PATH prema odredišnom uređaju. PATH poruka može sadržavati razne kontrolne informacije koje identificiraju kreiranje putanje zajedno s informacijama o rezervaciji resursa potrebnih za samu putanju. Svaki usmjernik provjerava poruku i kontrolne informacije te snima stanje puta povezanog s trenutnom sesijom pa se izdvajaju zatraženi resursi specificirani od strane izvorišnog usmjernika. Kada poruka dođe do odredišnog uređaja, vraća se natrag u obrnutom smjeru te kada dođe od izvorišnog uređaja LSP putanja je kreirana.

6. UPRAVLJANJE PROMETOM U MPLS MREŽAMA

MPLS usmjeravanje uključuje implementaciju metoda usmjeravanja paketa kao što su usmjeravanje s upravljanjem iz izvorišnog čvora i usmjeravanje s upravljanjem iz izvorišnog čvora uz prenošenje. Ovakve metode doprinose smanjenju kašnjenja paketa s obzirom na to kako se odluka o odabiru puta prepušta samo izvorišnom čvoru i određenim čvorovima na putu. Smanjenjem kašnjenja paketa se smanjuje i gubitak paketa jer se smanjuje broj paketa koji prekomjerno kasne. MPLS arhitektura podržava dvije moguće opcije usmjeravanja, a to su: usmjeravanje s upravljanjem iz izvorišnog čvora uz prenošenje (*hop by hop*) i eksplicitno usmjeravanje. Na slici 13 su prikazana dva načina rutiranja u MPLS mreži.



Slika 13. Dva načina usmjeravanja u MPLS mreži [12]

Na slici 13 je isprekidanom linijom prikazano eksplicitno usmjeravanje a punom linijom *hop by hop* usmjeravanje. Kod *hop by hop* usmjeravanja svaki LSR samostalno odabire sljedeći skok za LSP koji je baziran na ILM (*Incoming Label Map*). Ovakva metoda otkriva najkraće moguće rute i prednosti su joj prosljeđivanje labelama, mogućnost upotrebe složaja labela i drugačiji tretman paketa od različitih FEC-ova. Kod eksplicitnog usmjeravanja LSR specificira pojedine ili sve LSR-ove u LSP. Ova metoda usmjeravanja pokazuje sve prednosti MPLS uključujući sposobnost prometnog inženjerstva i politike usmjeravanja. Kod dinamičkog usmjeravanja je potrebno poznavati i topologiju MPLS domene kao i informaciju o kvaliteti.

Informacije vezane za kvalitetu usluge su podijeljene u dvije kategorije, a to je set atributa povezanih s FEC koji kolektivno specificiraju karakteristično ponašanje i set atributa povezanih s resursnim dijelovima koji ograničava postavljanje LSP kroz njih.

Postoji mnogo različitih puteva kojim određene jedinice mogu doći od izvorišta do odredišta te se iz tog razloga mora odrediti plan rutiranja kako bi se odabrali željeni putevi prema redoslijedu prednosti. Tablica rutiranja ima N čvorova a samim time i N redaka i stupaca.

6.1. Analitički primjer za usporedbu mrežnih performansi

Analitički primjer za usporedbu mrežnih performansi je napravljen u svrhu prikazivanja kašnjenja paketa tijekom klasičnog usmjeravanja i tijekom MPLS usmjeravanja. Ulazni podatci korišteni u analizi proizvoljno su definirani. Analiza je provedena tako da se prvotno određuje vrijeme kašnjenja tijekom klasičnog usmjeravanja, zatim vrijeme kašnjenja tijekom MPLS usmjeravanja. Razlika u navedena dva proračuna je u tome što se pretpostavlja kako je vrijeme obrade paketa kraće tijekom MPLS usmjeravanja nego tijekom klasičnog usmjeravanja. Topologija mreže je određena matrično i sastoji se od 10 čvorova kao što to prikazuje tablica 3. U ovakvoj topologiji svaki čvor ima link prema svim ostalim čvorovima

Tablica 3. Topologija mreže

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	2	3	5	8	12	17	18	20	21
2	2	0	4	6	9	13	19	22	23	24
3	3	4	0	7	10	14	25	29	34	40
4	5	6	7	0	11	15	26	30	35	41
5	8	9	10	11	0	16	27	31	36	42
6	12	13	14	15	16	0	28	32	37	43
7	17	19	25	26	27	28	0	33	38	44
8	18	22	29	30	31	32	33	0	39	45
9	20	23	34	35	36	37	38	39	0	46
10	21	24	40	41	42	43	44	45	46	0

Iz tablice 3 je vidljivo kako se mreža sastoji od 10 čvorova i 46 grana. U ovom analitičkom primjeru kašnjenje paketa se određuje na proizvoljno odabranom putu 1-3-8-10 (tablica 4).

Tablica 4. Proizvoljni put između čvorova

grane		3		29		45	
čvorovi	1	-	3	-	8	-	10
	izvorni čvor						odredišni čvor

Tablica 4 prikazuje put kroz mrežu između čvorova 1 i 10 preko čvorova 3 i 8. Prema tablici 3 može se očitati kako čvor 1 i 3 povezuje grana 3, čvor 3 i 8 povezuje grana 29 i čvor 8 i 10 povezuje grana 45. Vrijeme kašnjenja T_{q} se određuje prema sljedećem izrazu:

$$T_{\mathrm{q}} = T_{\mathrm{obr}_1} + T_{\mathrm{w}_1} + T_{\mathrm{s}_3} + T_{\mathrm{obr}_2} + T_{\mathrm{w}_3} + T_{\mathrm{s}_{29}} + T_{\mathrm{obr}_2} + T_{\mathrm{w}_8} + T_{\mathrm{s}_{45}} + T_{\mathrm{obr}_1} \quad (1)$$

pri čemu pojedini članovi unutar jednadžbe predstavljaju sljedeće:

T_{obr_1} = vrijeme obrade paketa u izvorišnom i odredišnom čvoru (u ovom slučaju čvor 1 i 10),

T_{w_1} = vrijeme čekanja paketa u čvoru 1,

T_{s_3} = vrijeme prijenosa paketa na grani 3,

T_{obr_2} = vrijeme obrade paketa u usputnim čvorovima (u ovom slučaju čvor 3 i 8),

T_{w_3} = vrijeme čekanja paketa u čvoru 3,

$T_{\mathrm{s}_{29}}$ = vrijeme prijenosa paketa na grani 29,

T_{w_8} = vrijeme čekanja paketa u čvoru 8,

$T_{\mathrm{s}_{45}}$ = vrijeme prijenosa paketa na grani 45.

S obzirom na to kako je poznato da se kašnjenje računa kao zbroj vremena čekanja paketa i vremena prijenosa paketa dolazi se do sljedećih izraza:

$$T_{\mathrm{q}_1} = T_{\mathrm{w}_1} + T_{\mathrm{s}_3} \quad (2)$$

$$T_{\mathrm{q}_2} = T_{\mathrm{w}_3} + T_{\mathrm{s}_{29}} \quad (3)$$

$$T_{\mathrm{q}_3} = T_{\mathrm{w}_8} + T_{\mathrm{s}_{45}} \quad (4)$$

Sada se jednadžba (1) može pojednostavljeno zapisati:

$$T_{\mathrm{q}} = 2 \cdot T_{\mathrm{obr}_1} + 2 \cdot T_{\mathrm{obr}_2} + T_{\mathrm{q}_1} + T_{\mathrm{q}_2} + T_{\mathrm{q}_3} \tag{5}$$

Proizvoljno je odabrano kako se duljina paketa ravna po eksponencijalnoj distribuciji što znači kako je riječ o modelu M/M/1. Prema modelu M/M/1 izraz za $T_{\mathrm{q}1,2,3}$ glasi:

$$T_{\mathrm{q}_{1,2,3}} = \frac{T_s}{1-\rho} \tag{6}$$

pri čemu je:

T_{s} = prosječno vrijeme prijenosa paketa,

ρ = prometno opterećenje.

Prosječno vrijeme prijenosa paketa se računa kao omjer duljine paketa (p) i kapaciteta grane (C), odnosno:

$$T_s = \frac{\mathrm{p}}{\mathrm{C}} \tag{7}$$

Kapaciteti pojedinih grana C su u većini slučajeva definirani matrično, ali s obzirom na to kako topologijska mreža sadrži 46 grana, kapaciteti nisu prikazani matrično. Tijekom proračuna kapaciteti pojedinih grana su definirani kao konstantni (2 Mbit/s) te u jednom slučaju kao promjenjivi.

Prometno opterećenje ρ se određuje prema izrazu:

$$\rho = \lambda \cdot T_{\mathrm{s}} \tag{8}$$

pri čemu:

λ = intenzitet nailazaka paketa na grani (pak/s).

Sada kada su poznate sve komponente potrebne za proračun kašnjenja paketa, slijedi proračun vremena kašnjenja u slučaju MPLS i klasičnog usmjeravanja u tri slučaja:

- pri konstantnom kapacitetu i intenzitetu nailazaka paketa,
- pri promjenjivom opterećenju,

- pri promjenjivom kapacitetu.

6.1.1. Usporedba vremena kašnjenja MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja pri C=konst. i λ=konst.

Prvotno je potrebno definirati sve ulazne parametre potrebne za proračun vremena kašnjenja, te shodno tome (p) iznosi 500 byte-a, (λ) iznosi 400 paketa/s i (C) 2 Mbit/s.

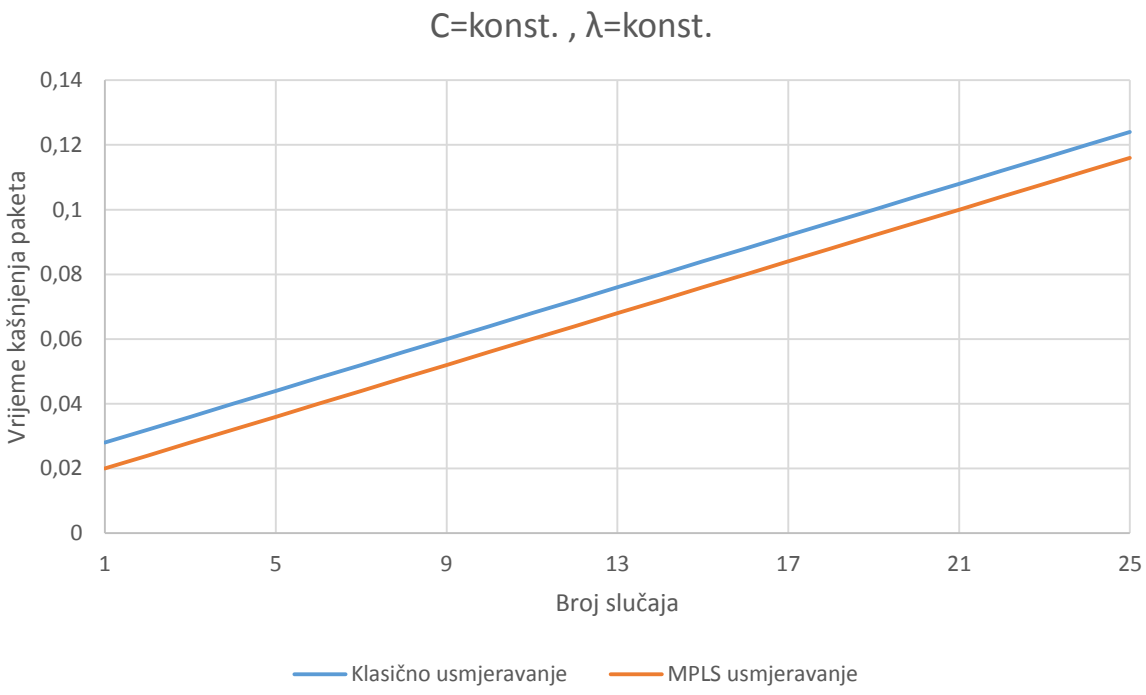
Prema jednadžbi (7), prosječno vrijeme prijenosa paketa iznosi T_s = 0,002 s, te shodno tome prema jednadžbi (8) prometno opterećnje iznosi ρ = 0.8.

Vremena obrade podataka u izvorišnom i odredišnom čvoru su pretpostavljena i to na način da se pretpostavlja kako je vrijeme obrade podataka tijekom MPLS usmjeravanja kraće. Vremena su pretpostavljena 25 puta odnosno u 25 slučajeva su mijenjana vremena obrade te je na temelju toga konstruiran dijagram. U tablici 5 su prikazana pretpostavljena vremena obrade podataka kod klasičnog i MPLS usmjeravanja. Prvi stupac ne označava vrijednost već broj slučaja, te su tablično prikazane vrijednosti za samo prvih 6 slučajeva zbog bolje preglednosti. Kao što to prikazuje tablica 5, u svakom sljedećem slučaju vrijednost vremena obrade se poveća za 0.001 s.

Tablica 5. Vremena obrade podataka kod MPLS usmjeravanja i kod klasične usmjeravanja

	klasično		MPLS	
	Tobr1	Tobr2	Tobr1	Tobr2
1	0.006	0.003	0.004	0.001
2	0.007	0.004	0.005	0.002
3	0.008	0.005	0.006	0.003
4	0.009	0.006	0.007	0.004
5	0.01	0.007	0.008	0.005
6	0.011	0.008	0.009	0.006
……	……	…….	…….	…….

Sada kada su poznati svi parametri potrebni za izračun vremena kašnjenja, proveden je proračun za svih 25 slučajeva te je shodno tome dobiven dijagramski prikaz sa slike 14.



Slika 14. Prikaz vremena kašnjenja kod MPLS i klasičnog usmjeravanja pri C=konst. i λ=konst.

Dijagram sa slike 14 prikazuje kako je vrijeme kašnjenja paketa kod MPLS usmjeravanja kraće nego što je to u slučaju klasičnog usmjeravanja.

Sljedeća analiza se provodi tijekom promjenjivog prometnog opterećenja i promjenjivog intenziteta nailazaka paketa.

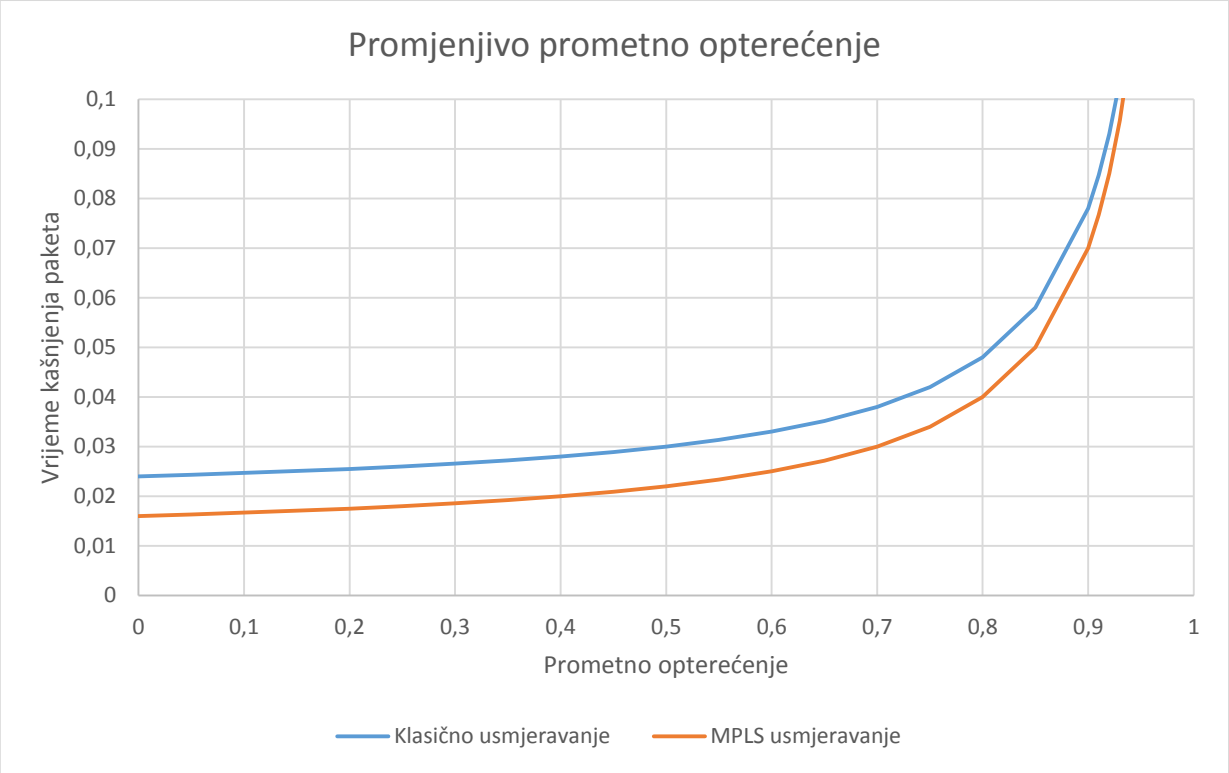
6.1.2. Usporedba vremena kašnjenja MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja pri promjenjivom opterećenju i intenzitetu nailazaka paketa

Prvotno je potrebno definirati sve ulazne parametre potrebne za proračun vremena kašnjenja, te shodno tome (p) iznosi 500 byte-a i (C) iznosi 2 Mbit/s. Prema jednadžbi (7), prosječno vrijeme prijenosa paketa iznosi T_s = 0,002 s.

S obzirom kako je u ovom slučaju opterećenje promjenjivo, iz jednadžbe (8) se može zaključiti kako se uz konstantno prosječno vrijeme prijenosa T_s, opterećenje i intenzitet nailazaka paketa mijenjaju proporcionalno. Odnosno intenzitet nailazaka paketa određuje prometno opterećenje u datom trenutku.

U ovom slučaju su vremena obrade paketa definirana i držana konstantnom. Tijekom proračuna vremena obrade u slučaju klasičnog usmjeravanja su iznosila $T_{obr1} = 0.006$ s i $T_{obr2} = 0.003$ s, dok su kod MPLS usmjeravanja iznosila $T_{obr1} = 0.004$ s i $T_{obr2} = 0.001$ s.

Vremena kašnjenja su računata za opterećenja od 0 do 1 s intervalom 0.05, te je uvrštavanjem svih definiranih vrijednosti u jednadžbu (1) dobiven prikaz sa slike 15.



Slika 15. Prikaz vremena kašnjenja kod MPLS i klasičnog usmjeravanja pri promjenjivom prometnom opterećenju i intenzitetu nailazaka paketa

Iz dijagrama sa slike 15 je vidljivo kako povećanjem opterećenja prema maksimalnom opterećenju, dolazi do strmog porasta vremena kašnjenja. Što opterećenje više teži prema 1, odnosno prema preopterećenju, to je manja vidljiva razlika između MPLS i klasičnog usmjeravanja. Pri manjim opterećenjima je proporcionalno povećanje vremena kašnjenja u slučaju povećanja opterećenja. I u ovom slučaju su vremena kašnjenja tijekom MPLS usmjeravanja kraća nego kod klasičnog usmjeravanja.

6.1.3. Usporedba vremena kašnjenja MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja pri promjenjivom kapacitetu

Prvotno je potrebno definirati sve ulazne parametre potrebne za proračun vremena kašnjenja, te shodno tome slijedi:

p = 500 byte,

λ= 400 pak/s

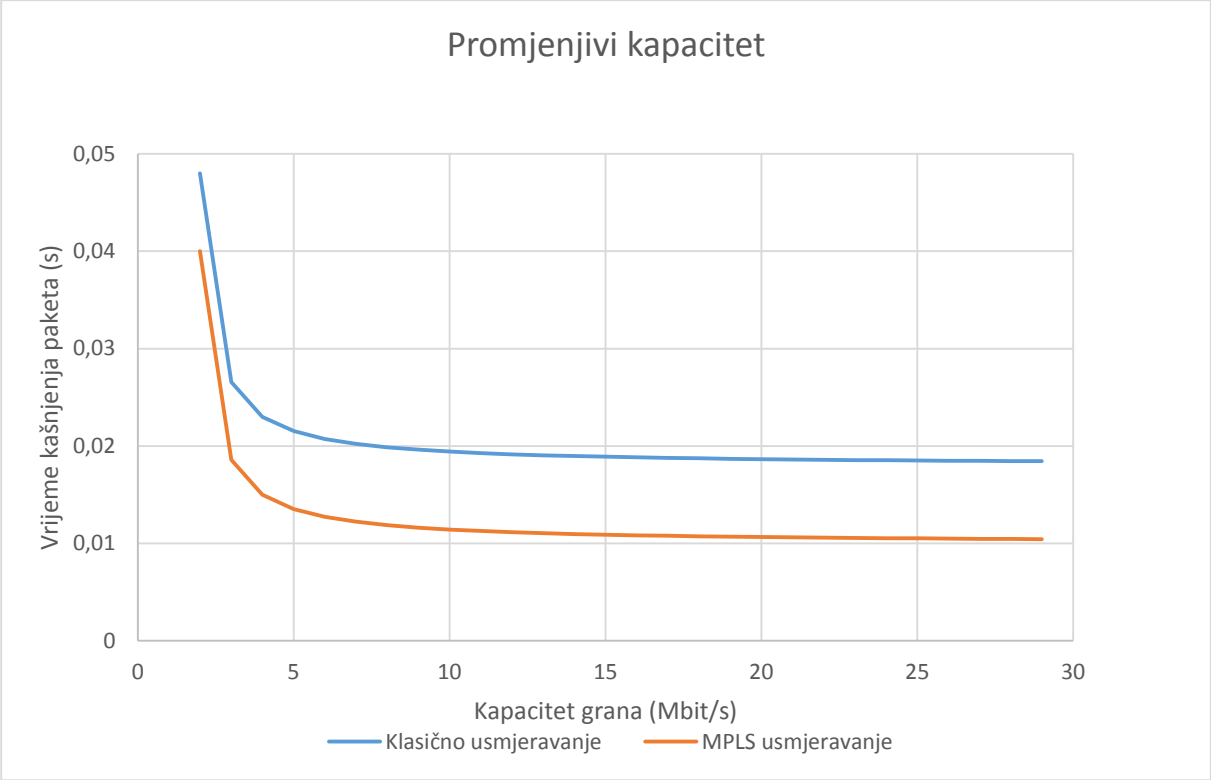
U ovom slučaju su vremena obrade paketa definirana i držana konstantnom. Tijekom proračuna vremena obrade u slučaju klasičnog usmjeravanja su iznosila $T_{\text{obr1}} = 0.006$ s i $T_{\text{obr2}} = 0.003$ s, dok su kod MPLS usmjeravanja iznosila $T_{\text{obr1}} = 0.004$ s i $T_{\text{obr2}} = 0.001$ s.

Tijekom proračuna kapacitet se držao promjenjivim te se mijenjao od 2 Mbit/s do 30 Mbit/s s intervalom 1. Prvotno je za svaki od tih slučaja određeno prosječno vrijeme prijenosa paketa i prometno opterećenje kao što se vidi u tablici 6.

Tablica 6. Prosječno vrijeme prijenosa paketa i prometno opterećenje

C	Ts	ro
2	0,002	0,8
3	0,00133	0,53333
4	0,001	0,4
5	0,0008	0,32
6	0,00067	0,26667
7	0,00057	0,22857
8	0,0005	0,2
9	0,00044	0,17778
…..	…..	…..

Uvrštavanjem svih definiranih vrijednosti u jednadžbu (1) dobiveni su rezultati za T_{q} koji su prikazani na slici 16.



Slika 16. Prikaz vremena kašnjenja kod MPLS i klasičnog usmjeravanja za različite scenarije kapaciteta grana

Iz dijagrama sa slike 16, može se zaključiti kako su vremena kašnjenja manja što su veći kapaciteti grana. Smanjivanjem kapaciteta grana prema 1 Mbit/s dolazi do strmog porasta vremena kašnjenja te se u tim slučajevima smanjuje, odnosno zanemariva je razlika između MPLS i klasičnog usmjeravanja. Pri ostalim kapacitetima grana MPLS usmjeravanje ima manja vremena kašnjenja od klasičnog usmjeravanj kao i u prethodna dva slučaja.

7. ZAKLJUČAK

Višeuslužne mreže su jako važne jer pojavljivanjem novih usluga rastu i zahtjevi za boljom i kvalitetnijom uslugom. Korištenjem MPLS mreže može se nadopuniti usmjeravanje bazirano na odabiru najkraće rute. Tom tehnologijom se rješavaju problemi kašnjenja tako da se smanjuje vrijeme procesuiranja u čvorovima jer se prosljeđivanje ne obavlja na temelju informacija u zaglavlju IP paketa. MPLS TE uključuje propusni opseg koji je bitan pri usmjeravanju te može usmjeriti promet na drugu rutu kako ne bi došlo do zagušenja. Time se bolje iskorištavaju mrežni resursi.

Bitna prednost tog postupka je da se informacije iz zaglavlja paketa analiziraju samo jednom, a dalje se postupak usmjeravanja paketa zasniva samo na provjeravanju labela koje zapravo predstavljaju identifikacijske oznake paketa i fiksne su duljine. Cilj razvoja MPLS-a je postizanje poboljšanja u vidu propusnosti i kašnjenja kod usmjeravanja temeljenom na IP-u

Napravljena analiza vremena kašnjenja pokazala je usporedbu MPLS usmjeravanja i klasičnog usmjeravanja. Dobiveni rezultati su pokazali kako se MPLS usmjeravanjem postižu manja vremena kašnjenja. Analiza je provedena u slučajevima konstantnog i promjenjivog kapaciteta te u slučaju promjenjivog opterećenja. Rezultati su prikazani u obliku prikladnih tablica i dijagramskih prikaza.

Višeuslužne mreže spadaju u jedan od kompleksnijih sustava danas te su samim time teške za upravljanje i održavanje. Prostora za napredak i povećanje kvalitete usluge ima, iz tog razloga, pažnju upravljanja mrežom treba usmjeriti prema tom cilju i smanjenju kompleksnosti mreže.

LITERATURA

[1] Popović, Ž.: *Od telegrafskih do paketnih komutacijskih sustava*, Ericsson Nikola Tesla REVIJA 17 (2), 2004., str. 10-11

[2] Dudak, D.: Komunikacija korištenjem protokola SIP na pokretnim telefonima, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2011., str. 32

[3] Bogović, V., Janković Ž. SIP (*Session Initiation Protocol),* AD Telekom Srbija; http://www.telfor.rs/telfor2004/radovi/RT-6-7.pdf (datum pristupanja:_28.05.2018)

[4] Baraković, J.: QoS signalizacija u višeuslužnim mrežama sljedeće generacije, https://www.researchgate.net/publication/267253512_QoS_signalizacija_u_viseusluznim_mrezama_sljedece_generacije (datum pristupanja:_28.05.2018)

[5] Miller R.: The OSI Model: An Overview, *SANS Institute InfoSec Reading Room*

https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/standards/osi-model-overview-543

[6] Schatz, R., Hoßfeld, T., Janowski, L., Egger, S.: "From Packets to People: Quality of Experience as New Measurement Challenge," pp.219-263 2013.

[7] Borovec K., Žigman D.: Implementacija mehanizama kvalitete usluge u IP mrežama, Vol 3. No.2, Polytechnic & Design Zagreb, 2015

[8] Hui-Lan Lu, Faynberg I., „An Architectural Framework for Support of Quality of Service in PacketNetworks ",IEEE Communications Magazine , June 2003

[9] https://www.srce.unizg.hr/arhiva_weba/20101105/sistemac.srce.hr/index.php%3fid=35&tx_ttnews%5bpS%5d=1246399200&tx_ttnews%5bpL%5d=2678399&tx_ttnews%5barc%5d=1&tx_ttnews%5btt_news%5d=323&tx_ttnews%5bbackPid%5d=34&cHash=56fa6de733.html

[10] De Ghein, L.: MPLS Fundamentals, Cisco Press, Indianapolis, 2007

[11] Susitaival R.; AdaptiveTrafficEngineeringinMPLSand OSPF Networks, Helsinki University of Technology
https://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/fit/publ/thesis_Susitaival_04.pdf

[12] Ruela J., Ricardo M.; MPLS – Multiprotocol Label Switching, pp. 1-12, Portugal; http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.589.6130&rep=rep1&type=pdf

[13] MPLS: What is Layer 2.5?, LightRiver Technologies, 2012

http://lightriver.com/wp-content/uploads/2015/07/LightRiverTechByte_MPLS_Layer-2_5.pdf

[14] https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_4-3/ipj_4-3.pdf

[15] Hodžić H.; MPLS TE mehanizmi u IP mrežama,

http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=970BE8C16317E635F21D7C52495BF18A?doi=10.1.1.462.8273&rep=rep1&type=pdf

[16] Rahmant T., "Teleprotection with MPLS ethernet communications — Development and testing of practical installations", IEEE Conference, pp. 1-18, 2018

[17]
http://www.cse.bgu.ac.il/common/download.asp?FileName=Lecture_4new.pdf&AppID=2&MainID=408&SecID=3504&MinID=3

POPIS SLIKA

Slika 1. Osnovni SIP mrežni elementi [3] 5
Slika 2. QoS podrška [4] 7
Slika 3. *DiffServ* arhitektura [4] 7
Slika 4. Arhitektura višeuslužnih mreža 9
Slika 5. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika [6] 13
Slika 6. Arhitektura kvalitete usluge [8] 15
Slika 7. Usmjeravanje u IP mreži [9] 19
Slika 8. MPLS zaglavlje [11] 20
Slika 9. MPLS domena [11] 21
Slika 10. Prikaz prolaska paketa kroz LSP [12] 21
Slika 11. Pozicija MPLS-a u OSI referentnom modelu [13] 22
Slika 12. MPLS operacije [14] 23
Slika 13. Dva načina usmjeravanja u MPLS mreži [12] 26
Slika 14. Prikaz vremena kašnjenja kod MPLS i klasičnog usmjeravanja pri C=konst. i λ=konst. 31
Slika 15. Prikaz vremena kašnjenja kod MPLS i klasičnog usmjeravanja pri promjenjivom prometnom opterećenju i intenzitetu nailazaka paketa 32
Slika 16. Prikaz vremena kašnjenja kod MPLS i klasičnog usmjeravanja za različite scenarije kapaciteta grana 34

POPIS TABLICA

Tablica 1. OSI referentni model [5] 10
Tablica 2. Usporedba IP i MPLS tehnologije 19
Tablica 3. Topologija mreže 27
Tablica 4. Proizvoljni put između čvorova 28
Tablica 5. Vremena obrade podataka kod MPLS usmjeravanja i kod klasične usmjeravanja. 30
Tablica 6. Prosječno vrijeme prijenosa paketa i prometno opterećenje 33

POPIS KRATICA

2G – *Second Generation of Mobile Telecommunications*

3G - *Third Generation of Mobile Telecommunications*

AS - *Autonomous System*

ATM - *Asynchronous Transfer Mode*

AToM - *Any Transport over MPLS*

BoS - *Bottom of Stack*

CSPF - *Constrained Shortest Path*

EIGRP - Enhanced Interior Gateway Routing Protocol

ER-LSP - *Explicity Routed Label-switched path*

EXP - *Eksperimental use*

FEC - *Forwarding Equivalence Class*

FR – *Frame Relay*

IBGP - *Internal BGP (Border Gateway Protocol)*

IBM - *International Business Machines*

IETEF - *The Internet Engineering Task Force*

IGRP - *Interior Gateway Routing Protocol*

ILM - *Incoming Label Map*

IP - *Internet Protocol*

IPV4 - *Internet Protocol version 4*

IPV6 - *Internet Protocol version 6*

ISDN - *Integrated Services for Digital Network*

IS-IS - *Intermediate System to Intermediate System*

ISO - *International Organization for Standardization*

ISP - *Internet Service Provider*

ITU - *The International Telecommunication Union*

LDP - *Label Distribution Protocol*

LER - *Label Edge Router* 50

LMDS - *Local Multipoint Distribution Service*

LSP - *Label-Switched Path*

LSR - *Label Switch Router*

MBPS - *Megabits per second*

MPLS - *Multiprotocol Label Switching*

MPLS QOS - *MPLS Quality of Service*

MPLS TE - *MPLS Traffic Engineering*

MPOA - *Multiprotocol over ATM*

MSN – *Multiservice Network*

NGN – *Next Generation Network*

NHLFE - *Next-Hop Label Forwarding Entry*

NNGOS - *Node-to-Node Grade of Service*

OSI - *Open Systems Interconnection* model

OSPF - *Open Shortest Path First*

PPP - *Point-to-Point Protocol*

PSTN - *Public Switched Telephone Network*

QOS - *Quality of Service*

RFC - *Request for Comments*

RIP - *Routing Information Protocol*

RVSP - *The Resource Reservation Protocol*

SDH - *Synchronous Digital Hierarchy*

SLA - *Service-Level Agreement*

SONET - *Synchronous Optical Networking*

TCP - *Transmission Control Protocol*

TOS - *Type of Service*

TTL - *Time to Live*

UDP - *User Datagram Protocol*

VPN - *Virtual Private Network*

WLAN - *Wireless Local Area Network*

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 **Osiguravanje kvalitete usluge u MPLS mrežama**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 27.6.2018 Blaženka Perić

(potpis)