Mehanizmi za osiguravanje kvalitete informacijsko - komunikacijskih usluga

Badovinac, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:119:156175

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Badovinac

MEHANIZMI ZA OSIGURAVANJE KVALITETE INFORMACIJSKO – KOMUNIKACIJSKIH USLUGA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 1. travnja 2019.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5157

Pristupnik: **Ivan Badovinac (0135244639)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Mehanizmi za osiguravanje kvalitete informacijsko - komunikacijskih usluga**

Opis zadatka:

Objasniti pojam kvalitete informacijsko-komunikacijskih usluga. Analizirati različite parametre kvalitete usluge i njihove granične vrijednosti za različite usluge.
Prikazati značajke mehanizama za osiguravanje kvalitete usluge u IP mrežama.
Analizirati funkcije razvijenih mrežnih arhitektura IntServ, DiffServ i MPLS, te usporediti njihove značajke.

Mentor:

Š. Mrvelj

prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

MEHANIZMI ZA OSIGURAVANJE KVALITETE INFORMACIJSKO – KOMUNIKACIJSKIH USLUGA

QUALITY OF SERVICE ASSURANCE MECHANISMS

Mentorica: prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Ivan Badovinac

JMBAG: 0135244639

Zagreb, kolovoz 2019.

MEHANIZMI ZA OSIGURAVANJE KVALITETE INFORMACIJSKO – KOMUNIKACIJSKIH USLUGA

SAŽETAK:

Ovim završnim radom prikazane su mrežne arhitekture i mehanizmi kojima telekomunikacijske mreže omogućuju davateljima usluga isporuku dogovorenih razina kvalitete usluge krajnjim korisnicima. Mrežne arhitekture integriranih usluga, diferenciranih usluga, te višeprotokolno usmjeravanje temeljem oznaka donose određena unaprjeđenja u proces isporuke dogovorene razine kvalitete usluge. Samim razvojem i napretkom telekomunikacijskih usluga, dolazi do njihovog razvoja i unaprjeđenja. U radu su prikazani osnovni elementi mrežnih arhitektura razvijenih u svrhu osiguranja kvalitete usluge te je opisan princip njihova rada. U svrhu razumijevanja osiguranja kvalitete usluge prikazane su različite definicije kvalitete usluge i analizirani osnovni pokazatelji kvalitete usluge. Prikazani su parametri kvalitete usluge koji osiguravaju dogovorenu razinu kvalitete usluge, prilikom isporuke usluge krajnjem korisniku. Granične vrijednosti parametara razlikuju se ovisno o vrsti usluge koju korisnik koristi.

KLJUČNE RIJEČI: kvaliteta usluge (QoS); parametri kvalitete usluge; QoS mehanizmi; IntServ; DiffServ; MPLS;

SUMMARY

This paper outlines network architectures and mechanisms that telecommunications networks use to enable service providers the delivering of agreed levels of service quality to end-users. The network architectures of Integrated services and Differentiated services, and also Multiprotocol Label Switching bring some improvements to the delivery process of an agreed level of service quality. The development and advancement of telecommunication services result in their development and improvement. The paper presents the basic elements of each network architecture that is developed to ensure the quality of service and describes the operation principle. To understand the concept of quality of service different definitions of quality of service are presented and the basic quality of service indicators are analyzed. This paper also presents the quality of service parameters which are used to ensure an agreed level of service quality, when delivering the service to the end-user. The parameters limits differ depending on the type of service the user is using.

KEYWORDS: Quality of Service (QoS); Quality of Service parameters; QoS mechanisms; IntServ; DiffServ; MPLS;

SADRŽAJ

1. Uvod 1
2. Pojam kvalitete usluge 3
   2.1. Definiranje pojma kvalitete usluge 3
   2.2. Korisnički zahtjevi za kvalitetom usluge 4
   2.3. Kvaliteta usluge iz perspektive davatelja usluga 5
   2.4. Ugovor o razini kvalitete usluge 6
      2.4.1. Vrste ugovora o razini kvalitete usluge 6
      2.4.2. Elementi ugovora o razini kvalitete usluge 7
   2.5. Razina usluge (eng. Grade of Service – GoS) 8
   2.6. Usporedba kvalitete usluge (QoS) i razine usluge (GoS) 8
   2.7. Usporedba kvalitete usluge (QoS) i iskustvene kvalitete usluge (QoE) 9
3. Analiza parametara kvalitete usluge i graničnih vrijednosti za različite usluge 10
   3.1. Parametri kvalitete usluge 10
      3.1.1. Propusnost 11
      3.1.2. Gubitak paketa 12
      3.1.3. Kašnjenje 13
      3.1.4. Kolebanje kašnjenja i varijacija kašnjenja 15
   3.2. Granične vrijednosti parametara za određene usluge 15
   3.3. Mean Opinion Score (MOS) 17
4. Pregled mehanizama za osiguravanje kvalitete usluge 18
   4.1. Kontrola toka i kontrola zagušenja u telekomunikacijskoj mreži 18
   4.2. Oblikovanje prometa u telekomunikacijskoj mreži 19
   4.3. Protokoli za kontrolu prometnog toka 20
   4.4. Mehanizmi posluživanja i raspoređivanja paketa 22
   4.5. Upravljanje redovima čekanja 23
5. Mrežne arhitekture *IntServ* i *DiffServ* 26

5.1. Mrežna arhitektura IntServ 26
5.1.1. Klase *IntServ* usluga 27
5.1.2. Ključne komponente *IntServ* arhitekture 27
5.1.3. Rezervacija resursa 28
5.1.4. Kontrola pristupa 29
5.1.5. Identifikacija toka 30
5.1.6. Raspoređivač paketa 30
5.2. Mrežna arhitektura DiffServ 30
5.2.1. Elementi *DiffServ* arhitekture 31
5.2.2. *Per-Hop Behavior* – PHB 32
5.2.3. Klasifikacija prometa i prilagođavanje prometa uvjetima 33
6. Mrežna arhitektura MPLS 34
6.1. Značajke MPLS oznaka 34
6.1.1. Struktura MPLS oznake 35
6.1.2. Slaganje MPLS oznaka 35
6.1.3. Operacije sa MPLS oznakama 35
6.1.4. Dodjeljivanje i razmjena MPLS oznaka 36
6.2. Elementi MPLS mreže 36
6.2.1. *Label Edge Router* – LER 37
6.2.2. *Label Switch Router* – LSR 37
6.2.3. *Label Switched Path* – LSP 37
6.3. MPLS mreža i kvaliteta usluge 38
6.4. Implementacija kvalitete usluge u MPLS mreži 38
7. Zaključak 40
LITERATURA 41
POPIS KRATICA 44
POPIS SLIKA 46
POPIS TABLICA 47

1. Uvod

Davatelji usluga na telekomunikacijskom tržištu neprestano razvijaju značajke usluga koje pružaju krajnjim korisnicima u svrhu zadovoljenja korisničkih potreba, te tako pred telekomunikacijsku mrežu postavljaju zahtjeve koji su na određeni način povezani sa procesom isporuke određene kvalitete usluge. Tako se od današnje, suvremene telekomunikacijske mreže traži da na određeni način zadovolji sve zahtjeve koje pred nju postavljaju davatelji usluga.

Ovaj završni rad obrađuje proces pružanja kvalitete informacijsko-komunikacijskih usluga u današnjim telekomunikacijskim mrežama, a sama svrha završnog rada je pružiti informacije potrebne za razumijevanje tog procesa. Cilj završnog rada je istražiti i objasniti pojam kvalitete informacijsko-komunikacijskih usluga te mrežnih arhitektura koje su razvijene u svrhu osiguranja kvalitete isporučene usluge. Naziv završnog rada je: „Mehanizmi za osiguravanje kvalitete informacijsko-komunikacijskih usluga“, a sam rad podijeljen je u sedam glavnih cjelina:

1. Uvod
2. Pojam kvalitete usluge
3. Analiza parametara kvalitete usluge i graničnih vrijednosti za različite usluge
4. Pregled mehanizama za osiguravanje kvalitete usluge
5. Mrežne arhitekture *IntServ* i *DiffServ*
6. Mrežna arhitektura MPLS
7. Zaključak

U drugom poglavlju definiran je sam pojam kvalitete informacijsko-komunikacijskih usluga. Također je objašnjena kvaliteta usluga sa stajališta različitih sudionika na telekomunikacijskom tržištu te je definiran način osiguravanja određene razine kvalitete.

Treće poglavlje prikazuje i definira osnovne parametre kvalitete informacijsko-komunikacijskih usluga gdje je svaki od njih detaljno objašnjen i analiziran. U poglavlju su također prikazane granične vrijednosti parametara za određene vrste usluga koje se većinom pojavljuju na telekomunikacijskom tržištu.

Četvrto poglavlje opisuje mehanizme koji su bitni za pružanje dogovorene razine kvalitete informacijsko-komunikacijskih usluga. Prikazane su i objašnjene značajke samih mehanizama korištenih u telekomunikacijskim mrežama.

U petom poglavlju opisane su mrežne arhitekture *IntServ* i *DiffServ*, te su prikazane osnovne značajke navedenih mrežnih arhitektura. Prikazan je njihov način rada te njihovi ključni mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluga.

Šesto poglavlje opisuje mrežnu arhitekturu MPLS. Prikazane su osnovne značajke MPLS mrežne arhitekture, njeni osnovni mrežni elementi te njihov princip rada. Također je opisana veza između MPLS mrežne arhitekture i kvalitete usluga.

2. Pojam kvalitete usluge

Kvaliteta usluge (eng. *Quality of service* – QoS) predstavlja bitan element u procesu pružanja bilo koje vrste usluge na telekomunikacijskom tržištu. Mrežni operator mora donijeti odluku koju vrstu usluge će ponuditi krajnjem korisniku i koju razinu kvalitete usluge može pružiti krajnjem korisniku, kako bi postigao određenu razinu korisnikovog zadovoljstva.

Pojam kvalitete usluge prvotno je uveden u doba analogne telefonije gdje je označavao vjerojatnost dostupnosti puta za uspostavu poziva u telekomunikacijskoj mreži. Kvaliteta usluge u analognoj telefoniji tako obuhvaća sve aspekte uspostavljene telefonske veze kao što su kvaliteta glasa, kašnjenje, gubitak i pouzdanost [1].

2.1. Definiranje pojma kvalitete usluge

Razvojem telekomunikacijskog tržišta i pojavom novih usluga koje su pružali mrežni operatori, dolazi do potrebe za standardizacijom mrežnih performansi. Važan zadatak predstavljalo je definiranje pojma kvalitete usluge kako bi mrežni operatori mogli razumjeti koji se točno zahtjevi stavljaju pred njih i koje je to ciljeve potrebno ispuniti. Međunarodna unija za telekomunikacije (eng. *International Telecomunication Union* - ITU) u preporuci ITU-T E.800 kvalitetu usluge definira kao skup performansi usluge kojima se određuje razina zadovoljstva korisnika uslugom. Prema ovoj definiciji kvaliteta usluge predstavlja efekt performansi same mreže [2].

Preporuka ITU-T X.902 kvalitetu usluge definira kao skup zahtjeva u pogledu kvalitete kolektivnog ponašanja jednog ili više objekata. Preporukom je također navedeno da se kvaliteta usluge može specificirati ugovorom između mrežnog operatera i krajnjeg korisnika, izražavati pomoću određenih parametara i mjeriti. Prema ovoj definiciji kvaliteta usluge više ne ovisi o performansama same mreže, već o skupu zahtjeva koji moraju biti ispunjeni [3].

Europski institut za telekomunikacijske standarde (eng. *European Telecommunications Standards Institute* – ETSI) u preporuci ETSI TR 102 805-1 opisuje da se kvaliteta usluge treba promatrati isključivo sa stajališta krajnjeg korisnika. Procjena i određivanje kvalitete usluge treba se provoditi s obzirom na zahtjeve koje pred uslugu postavlja krajnji korisnik. Zahtjevi krajnjeg korisnika izraženi su podacima koji se odnose na samog korisnika, kao što su QoS parametri i korisnički prioriteti vezani za usluge. QoS obaveze davatelja usluga trebaju odgovarati zahtjevima krajnjeg korisnika i mogu se definirati ugovorom o kvaliteti usluge [4].

Cisco Systems kvalitetu usluge definira kao mjeru kvalitete prijenosa i dostupnosti mrežnih usluga. Dostupnost same usluge tako postaje temeljni element kvalitete usluge. Mrežna infrastruktura mora biti dizajnirana tako da je mreža sama visoko pouzdana i dostupna, prije nego se QoS može uspješno implementirati. Visokom dostupnosti mrežne infrastrukture smatra se kada je mreža dostupna 99,999% promatranog vremena, uz dopuštenu stanku od pet minuta godišnje [5].

Prilikom procesa isporuke kvalitete usluge za određenu mrežnu aplikaciju bitno je osigurati da doživljena degradacija kvalitete isporučene usluge bude unutar utvrđenih granica. Granice degradacije kvalitete usluge mogu se definirati za različite skupine korisnika. Kada više različitih korisnika ima slične zahtjeve za određenom uslugom, oni se grupiraju u određene interesne skupine korisnika. Bitno je razumjeti da svaka interesna skupina zahtjeva izvršavanje određenih aktivnosti koje će ispuniti sve njihove potrebe.

Postoje dvije ključne interesne skupine koje su zainteresirane za procese isporuke i upravljanje kvalitetom usluge, a to su:

- davatelji mrežnih usluga
- krajnji korisnici [6].

Krajnjim korisnicima bitno je da davatelj mrežnih usluga ispuni njihove zahtjeve za kvalitetom usluge, te da njihova percepcija primljenih performansi usluge bude zadovoljavajuća. Davateljima usluga bitna je planirana kvaliteta usluge, odnosno kvaliteta usluge koju su oni spremni ponuditi krajnjem korisniku, te u konačnici stvarno postignuta kvaliteta usluge koja je isporučena prema krajnjem korisniku.

2.2. Korisnički zahtjevi za kvalitetom usluge

Korisnici nisu zainteresirani za rad same mreže, već od nje očekuju da im omogući izvršavanje njihovih aktivnosti i da ispuni njihova očekivanja u pogledu uspješnog zadovoljavanja njihovih potreba. Ukoliko mreža može uspješno udovoljiti zahtjevima korisnika uz prihvatljive troškove, korisnici će takvu mrežu smatrati uspješnom. Korisnički zahtjevi za kvalitetom usluge u potpunosti se temelje na kvaliteti usluge od kraja do kraja. U tom slučaju korisnik može ocijeniti samo kvalitetu isporučene usluge, te on nema pristup informacijama o značajkama komponenata mreže koje su sudjelovale u isporuci te usluge.

Na korisničke zahtjeve za kvalitetom mogu utjecati sljedeći čimbenici [6]:

- vrsta mrežne aplikacije
- konkurentna okolina

- cijena usluga
- tehnološka unapređenja.

Mrežne aplikacije koje korisnik koristi mogu imati različite zahtjeve za kvalitetom usluge koje je potrebno ispuniti. Zbog toga se kriteriji kvalitete usluge razlikuju za svaku uslugu koju nudi davatelj usluga i definira se skup parametara koji omogućuju upravljanje sa kvalitetom svake usluge zasebno.

Liberalizacija telekomunikacijskog tržišta omogućila je korisnicima da samostalno odlučuju o izboru davatelja usluga, te o mogućim promjenama davatelja usluga koje mogu biti uzrokovane boljom ponudom i pogodnostima koje nude konkurentni davatelji usluga. Kako bi zadržali svoje postojeće korisnike i privukli nove, davatelji usluga moraju biti svjesni tehnoloških unapređenja i poboljšanja koje nude konkurentni davatelji usluga.

Veza između kvalitete usluge i cijene isporuke usluga ovisi o grupi korisnika koja se promatra. Neki korisnici ne zahtijevaju visoku razinu kvalitete usluge ali im je cijena isporuke usluga vrlo bitna, dok druga vrsta korisnika može zahtijevati visoku razinu kvalitete usluga uz zanemarivanje troškova isporuke usluga. Pred davateljem usluga je zadatak da pronađe rješenje kojim će omogućiti zadovoljenje zahtjeva svih skupina korisnika, uz optimalno iskorištenje mrežnih resursa.

2.3. Kvaliteta usluge iz perspektive davatelja usluga

Ponuđena razina kvaliteta usluge definira se kao stanje kvalitete usluge za koju se očekuje da će biti ponuđena krajnjem korisniku od strane davatelja usluga, na temelju zahtjeva kojeg je postavio korisnik. Korisnik mora biti upoznat sa razinom ponuđene kvalitete usluge te mu ona mora biti prikazana na razumljiv način.

Ponuđena kvaliteta usluge se definira za svaku uslugu posebno zato što se od korisnika očekuje kupovina jedne ili više usluga, ali nikako kupovina cijelog skupa usluga koje nudi davatelj usluga. Također neke usluge mogu imati jedinstvene parametre performansi, te će različiti parametri imati različiti utjecaj na isporučenu razinu kvalitete usluge. Različite skupine korisnika mogu imati različite zahtjeve za performansama određene usluge, a od davatelja usluge tada se očekuje da ponudi različite razine kvalitete usluge različitim grupama korisnika. Te razlike u ponuđenoj kvaliteti usluge mogu imati utjecaj na performanse same mreže.

Postignuta razina kvalitete usluge definira se kao stanje kvalitete usluge koju je davatelj usluga osigurao krajnjem korisniku, a izražava se pomoću parametara koji su definirani na temelju zahtjeva korisnika. Vrijednosti tih parametara trebale bi biti jednake vrijednostima parametara koji su definirani sa ponuđenom kvalitetnom usluge.

Vrijednost postignute kvalitete usluge može se dobiti mjerenjem određenih parametara kvalitete usluge. Mjerenja se mogu provoditi na način da se uzimaju uzorci vrijednosti u nekom određenom vremenskom razdoblju, ili da se vrijednosti parametara kontinuirano nadziru. Rezultati mjerenja mogu biti prikazani s obzirom na svaki element mreže zasebno, te kao takvi potrebni su davatelju usluga kako bi mogao nadzirati vrijednost postignute razine kvalitete usluge. Također mogu biti prikazani i s *kraja-na-kraj* mreže, u tom slučaju oni predstavljaju važnost samom krajnjem korisniku i regulatornim tijelima [6].

2.4. Ugovor o razini kvalitete usluge

Ugovor o razini kvalitete usluge (eng. *Service Level Agreement* – SLA) predstavlja formalni dogovor koji će definirati odnos između davatelja usluga i krajnjeg korisnika usluge. Koristi se kako bi se definiralo što korisnik može očekivati od davatelja usluga, određene obaveze davatelja usluga i samog korisnika, sigurnosni ciljevi za određenu vrstu usluge koja se isporučuje, dostupnost same usluge, te postupci kojima se osigurava poštivanje odredbi ugovora [7].

2.4.1. Vrste ugovora o razini kvalitete usluge

Postoje tri vrste ugovora o razini kvalitete usluge [8], a to su:

- SLA zasnovan na usluzi
- SLA zasnovan na zahtjevima korisnika
- višerazinski SLA ugovor.

Prva vrsta SLA ugovora o razini kvalitete usluge je SLA ugovor koji se zasniva na samoj usluzi, a predstavlja dogovor o vrsti usluge koja će biti jednaka za sve korisnike koji pripadaju nekom davatelju usluga. Ovim načinom davatelj usluga osigurava jednaku razinu kvalitete usluge prema svim svojim korisnicima koji koriste određenu vrstu usluge.

Druga vrsta SLA ugovora o razini kvalitete usluge je SLA koji se zasniva na zahtjevima samog korisnika. Ovakva vrsta ugovora uspostavlja se između davatelja usluge i samo jednog korisnika, sa svrhom ostvarivanja određene razine kvalitete usluge za sve vrste usluga koje davatelj usluga pruža samo tom korisniku.

Posljednja vrsta SLA ugovora o razini kvalitete usluge je višerazinski SLA ugovor koji se uglavnom potpisuje između davatelja usluge i poslovnog korisnika, kako bi se

omogućila određena razina kvalitete usluge na svim razinama organizacijskog sustava poslovnog korisnika.

2.4.2. Elementi ugovora o razini kvalitete usluge

Samim ugovorom prvo treba biti definirano koju vrstu usluge korisnik u stvari zahtjeva od svog davatelja usluga. Nakon što je vrsta usluge definirana, potrebno je opisati sve dodatne pojedinosti o vrsti usluge koja se pruža poput održavanja mrežne povezanosti, propusnosti koju je potrebno osigurati, vjerojatnost kvara, nedostupnost usluge i sl.

Zatim je potrebno utvrditi koju razinu izvedbe usluge korisnik zaista traži s obzirom na pouzdanost i dostupnost zahtjevane usluge. Usluga se smatra pouzdanom ukoliko postoje minimalni poremećaji tijekom vremenskog razdoblja pružanja usluge, koji će utjecati na samu izvedbu usluge, te u konačnici, korisnikovo zadovoljstvo isporučenom kvalitetom usluge. Pouzdanost također uključuje i zahtjeve dostupnosti same usluge, jer korisnik može pouzdanom smatrati onu uslugu koja mu je dostupna u svakom trenutku.

Moguće je definirati kako će izgledati proces praćenja postignute razine kvalitete usluge te način izvještavanja davatelja usluga o izvedbi same usluge. Ovim dijelom ugovora tada je opisano tko će vršiti nadzor postignute razine kvalitete usluge, na koji način će taj nadzor biti proveden, koji statistički podaci će biti prikupljeni u svrhu ostvarivanja nadzora razine kvalitete usluge, i koji postupci će biti provedeni na već ranije prikupljenim podacima. Neki davatelji usluga mogu omogućiti svojim korisnicima pristup ovim podacima, ali samo u svrhu pregleda prikupljenih podataka bez mogućnosti njihovog mijenjanja.

Ugovorom je važno definirati način na koji će korisniku biti omogućeno prijavljivanje određenih problema koji se mogu pojaviti prilikom procesa isporuke same usluge. Time je definirano kome će korisnik prijaviti nastali problem, te koraci koje davatelj usluga mora provesti kako bi se omogućilo brzo otklanjanje nastalog problema. Također je moguće definirati i neko vremensko razdoblje tijekom kojeg korisnik može očekivati da davatelj usluga pristupi rješavanju nastalog problema kao i vrijeme potrebno za rješavanje samog problema.

U konačnici potrebno je definirati posljedice za davatelje usluga koji neće ispunjavati obaveze opisane ugovorom. Davatelj usluga u tom slučaju će pokušati ispraviti svoje pogreške pružanjem određenih bonusa i pogodnosti korisniku koji je doživio negativno iskustvo prilikom procesa pružanja usluge, a ugovorom također može biti opisan scenarij kojim korisnik može tražiti raskid pružanja usluge prije vremena isteka ugovorne obaveze, čime je korisniku dopušteno traženje novog davatelja usluga [7].

2.5. Razina usluge (eng. *Grade of Service* – GoS)

U analognoj telefoniji razina usluge opisana je kao vjerojatnost da poziv bude odbijen od strane mrežnog operatora ili da poziv kasni više od određenog vremenskog intervala koji se izražava u obliku nekog decimalnog dijela vremenske jedinice. U tom slučaju razina usluge može se promatrati s obzirom na određeno vremensko razdoblje pružanja usluge, s ciljem usporedbe ponašanja mreže u vremenskom razdoblju vršnog opterećenja, odnosno opterećenje u glavnom prometnom satu (eng. *Busy Hour* – BH), s ostalim vremenskim razdobljima pružanja usluge. GoS se u telefoniji također može definirati i kao razina usluge za koju je telekomunikacijska mreža dizajnirana, a može biti uvjetovana određenim parametrima kao što su vjerojatnost kašnjenja ili blokiranja poziva.

Preporukom ITU-T E.600 razina usluge opisana je kao brojne varijable prometnog inženjerstva koje se koriste da bi se osigurale određene mjere dostupnosti mrežnih resursa pod specificiranim uvjetima okoline koji mogu vladati u telekomunikacijskoj mreži. Te varijable mogu biti izražene kao vjerojatnost blokiranja poziva, vjerojatnost kašnjenja i sl.. Blokiranje i kašnjenje u telekomunikacijskoj mreži uzrokovano je ograničenim kapacitetom mreže i mrežnih elemenata, dok se zahtjev za kapacitetom može opisati stohastičkim procesom, kojim je opisano da je zahtjev za kapacitetom zapravo slučajni događaj, koji se može i ne mora dogoditi u određenim uvjetima mreže [9].

GoS se odnosi na dio mrežnih performansi (eng. *Network performanse* – NP) koje su povezane s prometom i definira se kao sposobnost telekomunikacijske mreže ili nekih njenih dijelova da osigura funkcije koje se odnose na komunikaciju između krajnjih korisnika. Osim što prekrivaju GoS, mrežne performanse također prekrivaju i ostale neprometne aspekte kao što su pouzdanost, svojstva prijenosa i značajke tarifiranja usluga. Iz zahtjeva za kvalitetom usluge tako je moguće izvesti ciljeve mrežnih performansi i ciljeve razine usluge.

Parametri kvalitete usluge korisnički su orijentirani i opisani su na način koji nije u ovisnosti sa samom mrežom. S druge strane parametri mrežnih performansi, koji su izvedeni iz parametara kvalitete usluge, mrežno su orijentirani. Tako se parametri mrežnih performansi mogu koristiti za specifikaciju zahtjeva koji se odnose na performanse pojedinih telekomunikacijskih mreža, ali nije potrebno da opisuju kvalitetu same usluge na način koji će biti razumljiv krajnjem korisniku [6].

2.6. Usporedba kvalitete usluge (QoS) i razine usluge (GoS)

Najvažniju razliku između koncepata kvalitete usluge i razine usluge predstavlja upravo njihova orijentacija prema događajima u telekomunikacijskoj mreži. QoS koncept

orijentiran je da promatra događaje u telekomunikacijskoj mreži sa stajališta krajnjeg korisnika, dok je GoS orijentiran na promatranje događaja sa stajališta same telekomunikacijske mreže.

Razlika se najbolje može prikazati sljedećim primjerom. Ukoliko se telekomunikacijska mreža dizajnira sa fiksnom vjerojatnošću blokiranja od 1%, sam korisnik će tu veličinu interpretirati tako da od 100 njegovih pokušaja uspostave poziva, u prosjeku njih 99 bude uspješno. Fiksirajući vrijednost blokiranja na 1% mrežni operator je dodijelio određenu vjerojatnost blokiranja svakom elementu koji se nalazi u telekomunikacijskoj mreži, a koji se može naći na putu prilikom uspostave samog poziva. Kako bi se osiguralo da postavljena vrijednost bude ispunjena, telekomunikacijska mreža mora biti pod stalnim nadzorom. Kako se nadzor mora provoditi nad cijelom telekomunikacijskom mrežom, moguće je osigurati da telekomunikacijska mreža samo u prosjeku zadovoljava postavljeni cilj. Ako se iz skupa nekih pristupnih linija promatra određena pristupna linija, njena vrijednost GoS parametara možda premašuje zadane vrijednosti, ali u prosjeku za sve pristupne linije cilj je ispunjen.

GoS se tako odnosi na parametre koji se mogu provjeriti kroz same mrežne performanse, te se na taj način provjerava jesu li ispunjeni postavljeni ciljevi. Kako u nekim slučajevima samo prosječna vrijednost svih parametara zadovoljava postavljeni GoS cilj, to ne mora značiti da je cilj koji je postavljen pred QoS također ispunjen [9].

2.7. Usporedba kvalitete usluge (QoS) i iskustvene kvalitete usluge (QoE)

Iskustvena kvaliteta usluge (*Quality of experience* – QoE) predstavlja mjerilo kojim se izražava stupanj zadovoljstva ili nezadovoljstva krajnjeg korisnika sa isporučenom kvalitetom usluge. Iskustvena kvaliteta usluge proizlazi iz ispunjenja korisnikovih očekivanja u pogledu korištenja isporučene usluge, uživanja korisnika prilikom korištenja usluge te osobnosti i trenutnog stanja korisnika. U kontekstu komunikacijskih usluga, na iskustvenu kvalitetu usluge može utjecati sam sadržaj usluge koja se isporučuje, vrsta krajnjeg uređaja korištenog od strane krajnjeg korisnika, telekomunikacijska mreža te očekivanja i ciljevi krajnjeg korisnika [10].

Kvaliteta usluge tako se odnosi na ponašanje same mreže i njene mrežne karakteristike. Kvaliteta usluge tako predstavlja određena jamstva performansi same telekomunikacijske mreže od strane mrežnog davatelja usluga. Iskustvena kvaliteta usluge predstavlja utjecaj ponašanja telekomunikacijske mreže, prilikom prijenosa korisničkih podataka, na samog krajnjeg korisnika [11].

3. Analiza parametara kvalitete usluge i graničnih vrijednosti za različite usluge

Kod upravljanja kvalitetom usluge potrebno je poznavati razliku između parametara kvalitete usluge (eng. QoS *parameters*) te značajki kvalitete usluge (eng. QoS *characteristics*). Jednom kada su značajke kvalitete usluge definirane jednoznačno sa jasnim granicama, tada se one nazivaju parametrima kvalitete usluge. One označuju sve one aspekte kvalitete usluge koji se mogu identificirati i kvantificirati, a razlog njihova uvođenja predstavlja modeliranje stvarnog ponašanja telekomunikacijskog sustava, koje se razlikuje od ponašanja koje je prikazano rezultatima mjerenja performansi sustava.

Parametri se koriste kako bi se izrazila kvaliteta usluge, dodjeljivanjem određenih znamenaka koje predstavljaju razinu performansi usluge koje ti parametri pokazuju. Parametri kao takvi mogu biti izraženi sa jednom ili više mjernih jedinica. Sve značajke ne mogu se definirati kao parametri, iz razloga što se određeni parametri mogu mjeriti subjektivnim dojmom samog korisnika, te ih je nemoguće izmjeriti objektivno. Tako se određeni parametri izražavaju pomoću kvalitativnih parametara rangiranjem subjektivnih performansi usluge. U tu svrhu koristi se *Mean Opinion Score* – MOS.

Kvaliteta izvedbe neke usluge ovisit će o korisničkim zahtjevima koji se stavljaju pred samu uslugu. Korisnički zahtjevi se opisuju određenim značajkama kvalitete usluge, a te značajke se nadalje mogu preslikavati i tada će predstavljati parametre kvalitete usluge čije vrijednosti se mogu izmjeriti i prikazati [6].

3.1. Parametri kvalitete usluge

Različite aplikacije imaju različite zahtjeve za rukovanjem s prometom kojeg su one generirale, te se od telekomunikacijske mreže zahtjeva da bude sposobna prenositi generirani promet pod uvjetima koje zahtijevaju same aplikacije. Zahtjevi tih aplikacija izražavaju se sljedećim parametrima kvalitete usluge [6]:

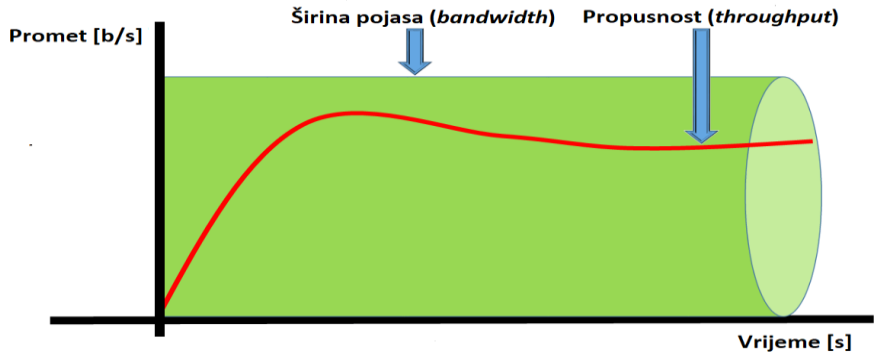
- propusnost
- gubitak paketa
- kašnjenje
- kolebanje kašnjenja (eng. *jitter*).

3.1.1. Propusnost

Parametar propusnosti (eng. *throughput*) može se definirati kao propusna sposobnost ili efektivan kapacitet mreže. Njime se izražava efektivna brzina prijenosa podataka koja je izražena brojem bita informacije koji su preneseni putem telekomunikacijske mreže u nekom određenom vremenskom okviru. Vrijednost propusnosti uvijek je manja od vrijednosti samog kapaciteta kanala, stoga se prilikom procesa dizajniranja telekomunikacijske mreže mora definirati razina propusnosti koju će mreža moći podržati i uspješno poslužiti [6].

Kapacitet kanala izražava se širinom pojasa (eng. *bandwidth*). Širina prijenosnog pojasa, kod analognih prijenosnih kanala, definira se kao razlika između najviše i najniže frekvencije koju prijenosni kanal može podržati. Tako se širina pojasa u ovom slučaju mjeri i izražava u mjernoj jedinici Hertz (Hz). Kod podatkovnih mreža, širina prijenosnog pojasa uglavnom se odnosi na nominalno maksimalnu brzinu prijenosa podataka izmjerenu u broju prenesenih bita u sekundi (b/s) [12]. Telekomunikacijske mreže sa velikom širinom pojasa omogućuju prijenos veće količine podataka, ali velika širina pojasa ne jamči visoku učinkovitost mreže.

Propusnost mjeri količinu paketa koji su uspješno stigli do odredišta, te predstavlja praktičnu mjeru stvarne količine dostavljenih paketa, u odnosu na teoretsku količinu paketa za koju je definirano da se može prenijeti mrežom sa određenom propusnošću. Broj paketa koji neće stići do odredišta mora biti što manji, jer sa velikom količinom izgubljenih paketa performanse same mreže biti će loše. Propusnost mreže mjeri se kao prosječna vrijednost koja se koristi za predstavljanje ukupnih performansi telekomunikacijske mreže, a niska vrijednost propusnosti mreže ukazuje na određene probleme prilikom prijenosa koji mogu biti pogubni za mrežne aplikacije koje se izvode u stvarnom vremenu [13]. Tako kao posljedica smanjenja propusnosti, prilikom prijenosa podataka, mogu se pojaviti kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak samih paketa koji se prenose.



Slika 1. Odnos širine pojasa i propusnosti

Izvor: [14]

Iako se može činiti da su širina pojasa i propusnost mreže jednaki, njihov odnos prikazan je na slici 1. Sa slike je vidljivo kako je vrijednost propusnosti uvijek manja od vrijednosti širine pojasa, te kako se vrijednost propusnosti tijekom vremena mijenja, dok vrijednost širine pojasa ostaje ista za cijelo vrijeme trajanja prijenosa podataka. Samim time širina pojasa predstavlja teoretsku količinu prijenosa podataka dok propusnost predstavlja stvarnu količinu prenesenih podataka.

3.1.2. Gubitak paketa

ITU u preporuci ITU-T Y.1540 gubitak paketa definira kao omjer ukupnog broja izgubljenih paketa u odnosu na ukupan broj prenijetih IP paketa promatrane skupine. Povećanjem intenziteta prometa u telekomunikacijskoj mreži dolazi do povećanja broja izgubljenih paketa [15].

Telekomunikacijska mreža sastoji se od višestrukih komutacijskih čvorova distribuiranih u prostoru i dizajniranih da posluže traženu količinu prometa na određenom području. Svaki komutacijski čvor ima višestruke izlazne linkove, a na svakom linku nalazi se međuspremnik (eng. *buffer*) kojem je glavni zadatak privremeno pohraniti pakete koji se nalaze na izlazu komutacijskog čvora, zato što se izlazni link već koristi za prijenos drugog paketa. Do gubitka paketa dolazi u trenutku kada dođe do prepunjivanja međuspremika zbog čekanja paketa u redovima za usmjeravanje. Kako se tada dolazni paket ne može nigdje pohraniti on će biti odbačen. Međutim, postoji mogućnost implementacije mehanizama za upravljanje redovima čekanja, koji će u ovisnosti o prioritetu kojeg posjeduje određeni paket, izbaciti paket sa najmanjim prioritetom iz reda čekanja kako bi se napravilo mjesta u redu čekanja za dolazni paket sa većim prioritetom.

Gubitak paketa može nastati kao posljedica rada mrežnog elementa sa količinom prometa za koju nije dizajniran. Razlike u kapacitetu i brzini obrade podataka pojedinih

mrežnih elemenata može dovesti do situacije, gdje će mrežni elementi sa velikom brzinom obrade podataka zagušiti paketima mrežne elemente sa manjom brzinom obrade podataka. Odnosno, paketi u određene mrežne elemente dolaze brže nego što ih oni mogu obraditi. Ovaj problem rješava se povećanjem kapaciteta međuspremnika komutacijskih čvorova te kontrolom brzine slanja paketa za mrežne elemente sa velikim brzinama obrade podataka.

Vrijeme koje će paket provesti u redu čekanja ovisi o intenzitetu prometa u mreži, a neke aplikacije će pakete koji su predugo zadržani u redu čekanja smatrati kao izgubljene pakete iz razloga što će informacija koju oni prenose biti zastarjela ili netočna, tako da se gubitkom paketa može smatrati i prekomjerno kašnjenje paketa.

Pogreške prilikom prijenosa podataka mogu oštetiti pakete koji se prenose. Kada takvi paketi stignu u čvor, oni će biti odbačeni iz razloga jer komutacijski čvor nije siguran gdje je potrebno proslijediti pristigle pakete. Gubitak paketa također može nastati kao posljedica neispravnog rada same mrežne opreme ili softvera, te kao posljedica napada na telekomunikacijsku mrežu, gdje će doći do preplavljivanja mreže velikom količinom paketa. Napadima na telekomunikacijsku mrežu moguće je ostvariti veliku degradaciju mrežnih performansi [16].

Prihvatljiva razina gubitka paketa ovisi o vrsti medija koji se isporučuje putem telekomunikacijske mreže. Svaki značajan gubitak paketa prilikom isporuke audio ili video sadržaja imati će veliki utjecaj na iskustvo usluge za krajnjeg korisnika. Također, svaki značajniji gubitak paketa prilikom govornog poziva ometati će pružanje usluge korisniku. Tako se glasovnim i video pozivima 3-5% gubitka paketa smatra prihvatljivim.

Prijenos video sadržaja predstavlja „tešku“ vrstu prometa za prijenos telekomunikacijskom mrežom, tako da gubitak paketa postaje primjetan krajnjim korisnicima na 0,5% izgubljenih paketa, a neugodan na više od 2%. Gubitak paketa se kod prijenosa video sadržaja može iskoristiti za upravljanje promjenama vezanim za razlučivost slike ili promjenu prijenosne širine pojasa [17].

3.1.3. Kašnjenje

U prijenosu podataka telekomunikacijskom mrežom kašnjenje ili latencija definira se kao vrijeme koje je potrebno nekom paketu da bude prenesen od izvorišta do odredišta, odnosno može se definirati i kao vrijeme koje paket provede u mreži od njegovog ulaska u mrežu do njegovog izlaska iz mreže. Vrijednost kašnjenja u mreži teško se može predvidjeti zato što kašnjenje ovisi o trenutnom opterećenju komutacijskih čvorova kao i o performansama samih mrežnih elemenata [6].

Komponente koje utječu na vrijednost kašnjenja dijele se na fiksne komponente kašnjenja i varijabilne komponente kašnjenja. Fiksne komponente kašnjenja su one čija se vrijednost može otprilike izračunati i predvidjeti jer su poznati parametri o kojima ovise, a one su:

- propagacija
- procesiranje
- serijalizacija.

Propagacijsko kašnjenje definira se kao vrijeme koje je potrebno signalu da savlada duljinu vodiča, ili kao vrijeme potrebno prvom bitu poslanom od strane pošiljatelja da stigne do kraja veze, odnosno do odredišta. Propagacijsko kašnjenje tako ovisi o udaljenosti između izvorišta i odredišta te brzine propagacije podataka, a dobiva se kao količnik te dvije vrijednosti [18].

Procesiranje predstavlja vrijeme koje je potrebno komutacijskom čvoru da izvrši proces obrade informacija iz zaglavlja paketa. Obrada paketa također se koristi kako bi se otkrile i otklonile pogreške na razini bita koje se mogu javiti prilikom prijenosa paketa do odredišta. Vrijeme procesiranja ovisi o performansama samog čvora, tako da je mrežnim usmjerivačima velikih brzina potrebno nekoliko milisekundi za obradu paketa.

Kašnjenje zbog serijalizacije definira se kao vrijeme koje je potrebno da se serijaliziraju podaci na fizičkom vodu različite spojne opreme. Također se može definirati kao vrijeme potrebno da bitovi sa mrežnog usmjerivača prijeđu na komunikacijsku vezu. To vrijeme ovisi o duljini paketa i kapacitetu komunikacijske veze, a dobiva se kao količnik te dvije vrijednosti i izražava se najčešće u sekundama [19].

Varijabilne komponente kašnjenja ne mogu se predvidjeti jer ovise o trenutnom prometnom opterećenju u mreži, a one su:

- kašnjenje zbog čekanja u redovima
- kašnjenje zbog varijabilne duljine paketa.

Kašnjenje u redovima čekanja ovisi o količini prometa koja se u određenom trenutku nalazi u mreži, a to će rezultirati varijabilnim duljinama čekanja u redovima čekanja komutacijskih čvorova. O varijabilnoj duljini samih paketa ovisi i broj paketa koji se mogu privremeno pohraniti u redu čekanja. Varijabilna dulja paketa ovisi o vrsti aplikacije kojoj određeni paket pripada [18].

Ukupno kašnjenje paketa u telekomunikacijskoj mreži dobiva se zbrajanjem vrijednosti propagacijskog kašnjenja, vrijednosti vremena procesiranja paketa, vrijednosti

vremena serijalizacije i vrijednosti vremena čekanja u međuspreminicima komutacijskih čvorova, a najčešće se izražava u milisekundama (ms) [19].

3.1.4. Kolebanje kašnjenja i varijacija kašnjenja

Bitno je razumjeti razliku između pojmova kolebanja kašnjenja i varijacije kašnjenja koji nastaju prilikom procesa prijenosa paketa putem telekomunikacijske mreže. Kolebanje kašnjenja definira se kao razlika u kašnjenju između susjednih paketa koji pripadaju istoj sesiji prijenosa podataka, dok varijacija kašnjenja predstavlja mjeru koja govori kolika varijacija oko srednje vrijednosti kašnjenja je uočena u nekom vremenskom razdoblju.

Vrijednost kolebanja kašnjenja definira se za uzastopne pakete i ovisi o frekvenciji slanja samih paketa, te se odnosi na kratkoročne efekte koji se mogu pojaviti u telekomunikacijskoj mreži. Varijacija kašnjenja s druge strane ne ovisi o frekvenciji slanja samih paketa, a koristi se za izražavanje kratkoročnih i dugoročnih efekata koji se mogu pojaviti u telekomunikacijskoj mreži [6].

3.2. Granične vrijednosti parametara za određene usluge

Za svaku mrežnu uslugu koju koristi krajnji korisnik moguće je odrediti granične vrijednosti parametara kvalitete usluge, koje je potrebno ispuniti kako bi se postigla određena razina korisnikovog zadovoljstva. U tablici 1. prikazane su granične vrijednosti parametara kvalitete usluge za neke od najčešće korištenih usluga od strane korisnika.

Tablica 1. Granične vrijednosti parametara kvalitete usluge

Vrsta usluge	Očekivano vrijeme odziva (s)	Kašnjenje (ms)	Kolebanje kašnjenja (ms)	Brzina prijenosa (kb/s)	Potrebna širina pojasa (kb/s)	Vjerojatnost gubitka paketa	Vjerojatnost pogreške
Web pretraživanje	2-5	<400	Nije dostupno	<30,5	<30,5	0	0
Email	2-5	Malo	Nije dostupno	<10	<10	0	0
FTP	2-5	Srednje	Nije dostupno	<10	<10	0	0
Telnet	<2	<250	Nije dostupno	<1	<1	0	0
Prijenos zvuka	2-5	<150	<100	56-64	60-80	<0,1%	<0,1%

Video prijenos (HDTV)	Nije dostupno	<150	<50	Nije dostupno	4-60Mb/s	<0,0001%	<0,0001%
Video prijenos (multimedija)	Nije dostupno	<150	<150	Nije dostupno	28,8-500	<0,001%	<0,001%
Audio konferencija	Nije dostupno	<150	<400	12,2-64	17-80	<1%	<1%
Video konferencija	<100 ms	<150	<400	64-1920	80-2Mb/s	<0,01%	<0,01%

Izvor: [20]

Tako na primjer, na korištenje usluge web pretraživanja uglavnom utječe vrijeme odziva same usluge, koje je ograničeno na najvišu vrijednost od pet sekundi, a od telekomunikacijske mreže očekuje se da omogući isporuku paketa sa kašnjenjem manjim od 400 milisekundi. Kolebanje kašnjenja se u slučaju web pretraživanja ne uzima u obzir iz razloga što ima jako mali utjecaj na isporuku sadržaja krajnjem korisniku. Brzina prijenosa podataka niža je od 30,5 kb/s pa se stoga od mreže ne očekuje da omogući propusnost veću od 30,5 kb/s. Vjerojatnosti gubitka paketa i vjerojatnost pogreške u slučaju web pretraživanja mogu se zanemariti zato što je protokolom prijenosa osigurano ponovno slanje izgubljenih i oštećenih paketa.

U istu skupinu usluga sa web pretraživanjem mogu biti svrstane i usluge poput elektroničke pošte, prijenosa datoteka korištenjem FTP (eng. *File Transfer Protocol*) protokola ili ostvarivanje komunikacije između računala korištenjem Telnet mrežnog protokola. Navedene usluge uglavnom mogu tolerirati ukoliko neka vrijednost parametara izađe iz propisanih okvira, te ukoliko dođe do gubitka ili oštećenja paketa osigurano je ispravljanje nastale pogreške na način da krajnji korisnik to ne osjeti.

Usluge koje zahtijevaju isporuku sadržaja prema korisniku u stvarnom vremenu su usluge koje neće tolerirati gubitak paketa ili pogrešku prilikom prijenosa, zato što mehanizmi za ponovno slanje paketa nisu implementirani, pa će svaka pogreška utjecati na kvalitetu isporučenog sadržaja i unijeti određenu razinu degradacije same kvalitete. Usluge koje su prikazane u tablici 1. su prijenos zvuka, prijenos video sadržaja i održavanja video konferencija ili konferencijskih poziva.

Kod prijenosa video sadržaja važnu ulogu ima vrsta korištenog MPEG (eng. *Moving Picture Experts Group* – MPEG) standarda koji specificira postupke kodiranja i kompresije video sadržaja. Korišten MPEG standard prije svega utječe na potrebnu količinu širine pojasa za prijenos video sadržaja. Tako se za potrebe prijenosa video sadržaja HDTV kvalitete koristi MPEG-2 standard, te potrebna širina pojasa iznosi oko 40 Mb/s, preporučeno kolebanje kašnjenja je manje od 50 milisekundi, dok bi vjerojatnost

nastanka pogreške prilikom prijenosa mora biti manja od 10^{-6} kako bi se mogla osigurati određena kvaliteta sadržaja krajnjem korisniku.

Audio konferencija koristi sličnu audio vezu za prijenos korisničkog sadržaja kao i klasična telefonija samo što nudi veću kvalitetu zvuka i omogućuje povezivanje više od dva korisnika istovremeno. Važnu ulogu ima vrsta korištenog kodeka koji će utjecati na brzinu prijenosa i potrebnu širinu pojasa. Tako na primjer kodek G.711 osigurava brzinu prijenosa od 64 kb/s dok zahtijevana širina pojasa iznosi 80 kb/s. Usporedbe radi, kodek GSM EFR zahtijeva puno manju širinu pojasa od 17 kb/s, dok brzina prijenosa iznosi 12,2 kb/s. Vrijednosti kašnjenja, kolebanja kašnjenja, gubitka paketa i vjerojatnost pogreške jednake su za sve vrste kodeka.

3.3. Mean Opinion Score (MOS)

ITU-T P.10/G.100 opisuje MOS kao prosječnu vrijednost na prethodno definiranoj ljestvici, kojom subjekti, odnosno krajnji korisnici, dodjeljuju svoje mišljenje o izvedbi nekog sustava ili usluge, te se danas uzima kao najbolji način za opisivanje percipirane kvalitete nekog medija ili same usluge. MOS je imao veliki uspjeh u domeni kvalitete govora, stoga se danas koristi kao *de facto* standard i za druge vrste medija kao što su prijenos slike, zvuka, video sadržaja i sl. [21].

Tablica 2. Prikaz MOS vrijednosti i zadovoljstva korisnika

MOS	Kvaliteta usluge	Zadovoljstvo korisnika
5	Izvrsna	Jako zadovoljni
4	Vrlo dobra	Zadovoljni
3	Dobra	Neki korisnici nezadovoljni
2	Loša	Dosta nezadovoljnih korisnika
1	Jako loša	Svi korisnici nezadovoljni

Izvor: [6]

U tablici 2. prikazano je da se MOS vrijednost definira na ljestvici od jedan do pet, gdje vrijednost jedan predstavlja jako lošu kvalitetu usluge gdje će svi korisnici biti nezadovoljni pruženom uslugom, dok vrijednost pet predstavlja izvrsnu kvalitetu usluge kojom će biti zadovoljni svi korisnici.

4. Pregled mehanizama za osiguravanje kvalitete usluge

Kako bi davatelj usluga mogao isporučiti zahtijevanu i dogovorenu razinu kvalitete usluge krajnjem korisniku on mora imati kontrolu nad pristupom korisnika telekomunikacijskoj mreži, kontrolu zagušenja koje može nastati u mreži, mogućnost upravljanja resursima telekomunikacijske mreže, mogućnost korištenja odgovarajućih protokola koji omogućuju isporuku sadržaja prema krajnjem korisniku te kontrolu nad prijenosom podataka.

4.1. Kontrola toka i kontrola zagušenja u telekomunikacijskoj mreži

Jedna od glavnih funkcija komutacijskog čvora u telekomunikacijskoj mreži je kontrola prometnog toka. Potrebno je kontrolirati brzinu prijenosa paketa između komutacijskih čvorova kako bi se preventivno djelovalo da ne dođe do preplavljivanja dolaznih međuspremnika sporijih komutacijskih čvorova, te se na taj način također može smanjiti vjerojatnost pojavljivanja zagušenja u telekomunikacijskoj mreži. Potreba za implementacijom mehanizama kontrole prometnog toka javlja se zbog ograničenih resursa telekomunikacijske mreže, prije svega kapaciteta kanala za prijenos paketa te različitih brzina obrade paketa u komutacijskim čvorovima. Glavni zadatak kontrole prometnog toka tako je prilagođavanje brzine slanja paketa trenutno dostupnim mrežnim resursima i zadržavanje telekomunikacijske mreže na razini optimalne radne točke. Optimalna radna točka mreže predstavlja kompromis između iskorištenosti telekomunikacijske mreže i kvalitete usluge.

Kada količina ponuđenog prometa u telekomunikacijskoj mreži postane veća od dostupnih kapaciteta telekomunikacijske mreže dolazi do zagušenja, te se javlja potreba za kontrolom zagušenja. Kontrola zagušenja omogućuje metode kojima se regulira ulazni promet u telekomunikacijskoj mreži te se omogućuje upravljanje performansama same mreže. Glavni zadatak kontrole zagušenja je sprječavanje nastanka situacije u kojoj bi mreža mogla doživjeti kolaps, zadržavanjem broja paketa u mreži ispod razine iznad koje bi telekomunikacijska mreža doživjela drastično smanjenje performansi. Kontrola zagušenja spriječiti će nepotreban gubitak paketa i nepotrebno povećanje kašnjenja paketa prilikom njihova prijenosa prema odredištu [22].

Ovisno o trajanju samog zagušenja razlikuju se sljedeće vrste zagušenja koja se mogu pojaviti u telekomunikacijskoj mreži:

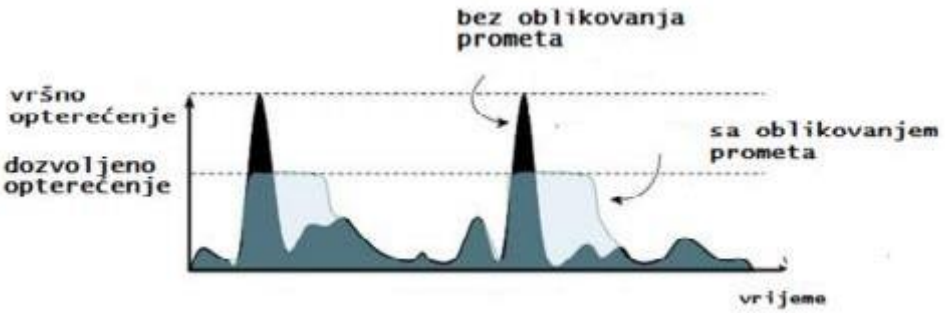
- stalno zagušenje
- periodičko zagušenje

- privremeno zagušenje
- trenutno zagušenje.

Pojava stalnog zagušenja izbjegava se pravovremenim planiranjem i povećanjem resursa telekomunikacijske mreže, a periodičkog zagušenja politikom cijena usluge, kontrolom pristupa telekomunikacijskoj mreži i dinamičkim usmjeravanjem paketa u telekomunikacijskoj mreži. Privremeno zagušenje u telekomunikacijskoj mreži nastaje kao posljedica dinamičke uspostave i prekida veze, a pogodan mehanizam za izbjegavanje pojavljivanja ove vrste zagušenja je odbacivanje paketa u komutacijskim čvorovima telekomunikacijske mreže. Trenutno zagušenje prekratkog je trajanja da bi na njega mogao biti primijenjen mehanizam kontrole prometnog toka pa se za njegovo upravljanje koristi proces oblikovanja prometa, dok se mehanizam odbacivanja paketa koristi za njegovo otklanjanje iz telekomunikacijske mreže [23].

4.2. Oblikovanje prometa u telekomunikacijskoj mreži

Proces oblikovanja prometa provodi se zbog prilagođavanja prometa uvjetima u telekomunikacijskoj mreži, ograničavanjem brzine prijenosa paketa, odnosno propusnosti mreže, do vrijednosti dozvoljenog opterećenja, koja je manja od vrijednosti kapaciteta prijenosnog kanala, privremenim skladištenjem onih paketa zbog kojih je premašena vrijednost dozvoljenog opterećenja [24]. Proces oblikovanja prometa prikazan je na slici 2, gdje je vidljivo da se oblikovanjem prometa može spriječiti da vrijednost prometa u mreži dostigne vrijednost vršnog opterećenja.



Slika 2. Prikaz procesa oblikovanja prometa

Izvor: [24]

Oblikovanje prometa obično se obavlja između predajnika podataka i komutacijskih čvorova koji se nalaze na rubnim dijelovima mreže. Utvrđivanje prometne politike predstavlja mehanizam kojim se ograničava propusnost mreže za određenu vrstu

prometa. Dva mehanizma koja se koriste kod procesa oblikovanja prometa su *leaky bucket* i *token bucket*.

Leaky bucket predstavlja mehanizam oblikovanja prometa kojim se izlazni promet zadržava na konstantnoj brzini bez obzira na brzinu dolaznog prometa. Svi paketi koji „preliju lijevak“, odnosno za koje nema mjesta u redu čekanja u komutacijskom čvoru, se odbacuju. Parametri koji karakteriziraju ovaj mehanizam oblikovanja prometa su veličina reda čekanja i izlazna brzina koji se mogu podesiti ovisno o intenzitetu ulaznog prometa.

Token bucket mehanizam oblikovanja prometa generira žetone fiksnom brzinom i pohranjuje ih u lijevak, a trošenje žetona uzrokovano je propuštanjem paketa kroz sam lijevak. Ovaj mehanizam oblikovanja prometa omogućuje paketima da lijevak napuštaju jednakom brzinom kojim pristižu, a omogućeno je prosljeđivanje i više povezanih paketa istovremeno, samo što se u tom slučaju troši više žetona. Odbacivanje paketa provodi se u trenutku kada nema više dostupnih žetona potrebnih za prosljeđivanje paketa, a odluku o odbacivanju paketa iz reda čekanja donosi sam međuspremnik [23].

4.3. Protokoli za kontrolu prometnog toka

Transmission Control Protocol – TCP pripada skupini transportnih protokola, a omogućuje pouzdan prijenos paketa od izvora prema odredištu te uključuje mehanizme za izbjegavanje zagušenja u telekomunikacijskoj mreži. Sam protokol temelji se na tri različita algoritma, a to su:

- spori start prijenosa paketa (eng. *slow start*)
- izbjegavanje pojave zagušenja (eng. *congestion avoidance*)
- brzo ponovno slanje paketa (eng. *fast retransmission*).

Razlog implementacije navedenih algoritama je izbjegavanje pojave pogrešnog zaključka o gubitku paketa koji se može javiti u slučajevima kada paketi na prijemnik stižu u izmijenjenom redoslijedu. Paketi koji na ovaj način pristižu u međuspremnik komutacijskog čvora, jednom kada se stave u red čekanja, ne koriste mrežne resurse i više ne utječu na zagušenje u telekomunikacijskoj mreži [23].

Slow-start predstavlja algoritam koji upravlja brzinom slanja podataka na određenom linku telekomunikacijske mreže. Omogućuje postepeno povećanje brzine prijenosa podataka sve dok ne pronađe maksimalnu propusnost telekomunikacijske mreže. Na taj način dolazi do reguliranja količine podataka koja se u određenom trenutku može nalaziti u telekomunikacijskoj mreži i omogućuje se prijenos veće količine podataka bez pojavljivanja zagušenja [25].

Fast retransmission omogućuje da se ne čeka istek vremena retransmisije (eng. *Retransmission Timeout* – RTO) kako bi se poslao odgovarajući paket, što znači da se umjesto pokretanja sporog starta nakon primanja ponovljenih potvrda nastavi sa izbjegavanjem zagušenja. Tako se povećava iskoristivost mrežnih resursa jer se ne čeka da istekne vremenski interval prije ponovnog slanja odgovarajućeg paketa.

RTO se procjenjuje na temelju uzimanja *Round Trip Time* – RTT uzorka. RTT predstavlja vremenski interval koji je potreban da bi paket informacije stigao od izvora informacije do njenog odredište, te da bi se vratio natrag na izvor informacije. RTO tako predstavlja parametar *slow-start* mehanizma, jer ukoliko potvrda o prijemu određenog paketa ne stigne unutar određenog RTO intervala, procjena RTO vremena se treba udvostručiti. Tako dolazi do sprječavanja nepotrebnih retransmisija paketa i izazivanja potpunog kolapsa telekomunikacijske mreže.

User Datagram Protocol – UDP predstavlja protokol prvotno razvijen za prijenos kratkih poruka za koje se TCP protokol pokazao kao nepraktičan i nepotrebno kompleksan. UDP je protokol pogodan za prijenos prometa aplikacija koje se izvode u stvarnom vremenu, zbog manjeg vremena kašnjenja i kolebanja kašnjenja (eng. *jitter*), a to je omogućeno jer ne postoji mehanizam za retransmisiju paketa. Nemogućnost retransmisije predstavlja problem ovog protokola jer ne može osigurati pouzdan prijenos paketa. Tako se UDP koristi kod aplikacija kod kojih gubitci paketa nisu prioritetan parametar postizanja određene kvalitete usluge.

Real-Time Protocol – RTP predstavlja transportni protokol koji podržava prijenos podataka u stvarnom vremenu. Razvijen je kako bi se ispravili nedostaci UDP protokola vezanog za nepouzdan prijenos podataka u stvarnom vremenu. Usluge koje pruža RTP protokol su vremenska rekonstrukcija, otkrivanje izgubljenih paketa te sigurnost i identifikacija sadržaja. Za razliku od TCP protokola koji je konekcijski orijentiran i omogućuje prijenos preko izravne veze, RTP protokol omogućuje slanje podataka prema više odredišta istovremeno.

Za aplikacije koje se izvršavaju u stvarnom vremenu pouzdanost isporuke paketa nije jednako važna kao pravovremenost dolaska paketa na odredište. RTP protokol tako omogućuje vremensko označavanje paketa, prepoznavanje vrste prometa i numeriranje paketa. Navedeni mehanizmi tako brinu o pravovremenoj isporuci paketa na odredište.

Vremensko označavanje paketa omogućuje predajniku da u zaglavlje paketa upiše trenutak uzrokovanja prvog uzorka, a nakon prijema paketa omogućuje prijemniku da korištenjem vremenskih oznaka pravilno rekonstruira podatke. Vremenske oznake također mogu poslužiti za sinkronizaciju različitih medija prilikom rekonstrukcije sadržaja, kao što su audio i video u MPEG prijenosu sadržaja. Prepoznavanje vrste prometa određuje format sadržaja te tip kompresije i kodiranja sadržaja. Izvor informacije

omogućuje prijenos samo jedne vrste sadržaja u određenom trenutku, pa se prepoznavanjem prometa koji se prenosi može odrediti pravilan način kompresije i kodiranja sadržaja. Numeriranje paketa koristi se jer UDP protokol ne isporučuje pakete vremenskim slijedom kojim su oni odaslani, pa se paketi na odredištu pravilno raspoređuju na temelju numeriranih oznaka. Numeriranje paketa također može poslužiti kao jedan od mehanizama za otkrivanje gubitka paketa.

Real-Time Control Protocol – RTCP predstavlja kontrolni protokol koji se koristi u kombinaciji sa RTP protokolom. Sudionici u RTP sesiji periodično šalju RTCP pakete kako bi obavijestili izvor informacije o kvaliteti isporuke sadržaja, te kako bi dostavili svoje podatke drugima. Glavna uloga ovog protokola tako je nadgledanje kvalitete usluge i kontrola zagušenja u telekomunikacijskog mreži [23].

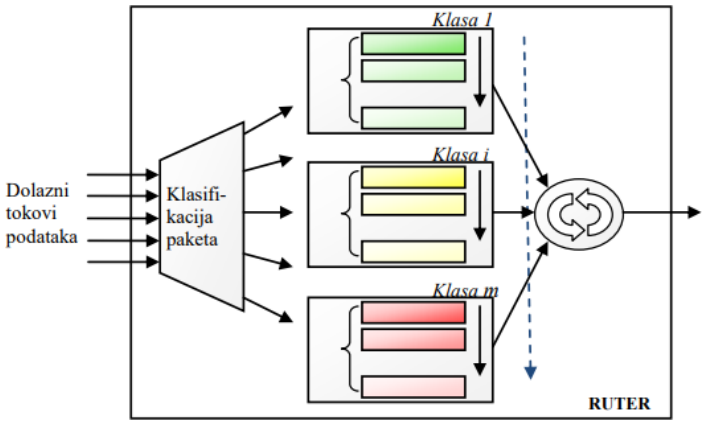
4.4. Mehanizmi posluživanja i raspoređivanja paketa

Ovim mehanizmima određena je disciplina posluživanja i omogućeno je otkrivanje da li određena klasa usluge ima određeni prioritet nad drugim klasama usluge. Raspoređivanje paketa vrši se mehanizmima koji kontroliraju izbor paketa koji će biti isporučeni u izlazne linkove komutacijskog čvora. Paketi koji ulaze u komutacijski čvor najčešće se pohranjuju u redove čekanja koji su sastavljeni od više redova paketa i raspoređivača paketa.

First In First Out – FIFO predstavlja najjednostavniju disciplinu raspoređivanja paketa. Ona podrazumijeva da su paketi smješteni u jedan red čekanja, te da se paketi koji su pije stigli u red čekanja prije poslužuju i prije napuštaju komutacijski čvor. Jednostavna implementacija, te niska cijena implemenacije FIFO mehanizma utjecati će na isporuku slabije kvalitete usluge jer tokovi podataka ovise jedni o drugima, pa se povećanjem intenziteta prometa jednog toka podataka u telekomunikacijskoj mreži negativno odražava na druge tokove podataka.

Class Based Queuing – CBQ predstavlja disciplinu posluživanja kod koje su paketi razvrstani u različite klase te se stavljaju u redove čekanja koji odgovaraju tim ranije određenim klasama. Ovom tehnikom omogućeno je da se svakom redu čekanja dodjeli određena širina pojasa, a posluživanje izlaznih paketa vrši se korištenjem *Round Robin* – RR mehanizma. *Round Robin* predstavlja pristup kod kojeg ako posluživanje nije završeno u određenom vremenskom intervalu, ono se prekida a preostali paketi se vraćaju u red čekanja. Kako bi promet s prioritetom imao što manje kašnjenje prilikom prijenosa koristi se *Weighted Round Robin* – WRR algoritam koji određenim paketima dodjeljuje težinski faktor. WRR tako svakom redu čekanja dodjeljuje određeno vrijeme u kojem će on biti poslužen, a nakon isteka tog vremena posluživanje se prekida te se

prelazi na posluživanje sljedećeg reda čekanja. Kada dođe do zadnjeg reda on se vraća na početak petlje i ponovo polazi od prvog reda čekanja. Tako se osigurava da svi redovi čekanja imaju jednak pristup izlaznom linku, te je moguće jamčiti određenu brzinu prijenosa podataka. Način rada WRR algoritma prikazan je na slici 3.



Slika 3. WRR algoritam posluživanja redova čekanja

Izvor: [23]

Fair Queuing – FQ predstavlja disciplinu posluživanja kod koje su paketi raspoređeni u prometne tokove i dodijeljeni redovima čekanja za odgovarajuće prometne tokove. FQ mehanizmi pokušavaju alocirati širinu pojasa koja je proporcionalna težinskim vrijednostima aktivnih tokova. Ukoliko prometni tok ne koristi cijelu širinu pojasa koja mu je dodijeljena, tada se ta širina pojasa dodjeljuje tokovima kojima nedostaje, proporcionalno njihovim težinama. FQ tako prometnim tokovima jamči njihovu dodijeljenu, odnosno rezerviranu, širinu pojasa uz mogućnost dobivanja dodatne širine pojasa koja je slobodna.

Priority Queuing – PQ predstavlja disciplinu posluživanja kod koje se paketi prvo klasificiraju a zatim pohranjuju u redove čekanja sa različitim prioritetom. Pojedini redovi čekanja imaju određeni prioritet prilikom posluživanja u odnosu na ostale redove čekanja, a paketi pohranjeni u jednom redu poslužuju se prema FIFO disciplini posluživanja. Određeni red čekanja biti će poslužen nakon što su posluženi svi redovi čekanja sa višim prioritetom od njega, a ukoliko se prilikom njegovog posluživanja pojavi potreba za posluživanjem reda sa višim prioritetom, posluživanje se odmah prekida i započinje se sa novim posluživanjem reda čekanja sa višim prioritetom [23].

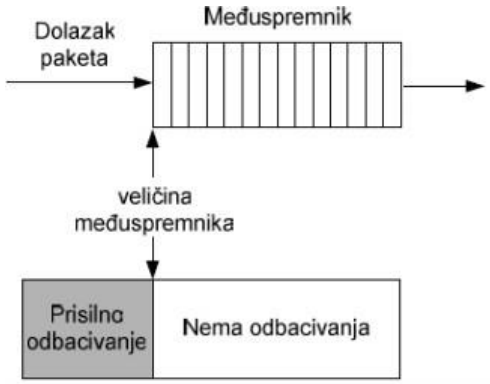
4.5. Upravljanje redovima čekanja

Upravljanje redovima čine mehanizmi koji odlučuju koji paket će biti stavljen u red za čekanje na posluživanje, a koji paket će biti odbačen. Mehanizmi se uglavnom razlikuju

prema kriterijima koje imaju za odbacivanje paketa, a iako se upravljanje može izvesti na više načina, najkorišteniji mehanizmi su:

- *Droptail* mehanizam
- *Front drop* mehanizam
- *Random drop* mehanizam
- *Active Queue Management* – AQM.

Droptail predstavlja najjednostavniji mehanizam za upravljanje redovima čekanja. On će u slučaju kada dolazni promet prelazi kapacitet izlaznog kanala međuspremnik puniti dolaznim paketima dok se ne iskoristi cijeli kapacitet međuspremnika, a nakon toga svi dolazni paketi biti će odbačeni. *Droptail* mehanizam prikazan je na slici 4.



Slika 4. *DropTail* mehanizam upravljanja redovima čekanja

Izvor: [23]

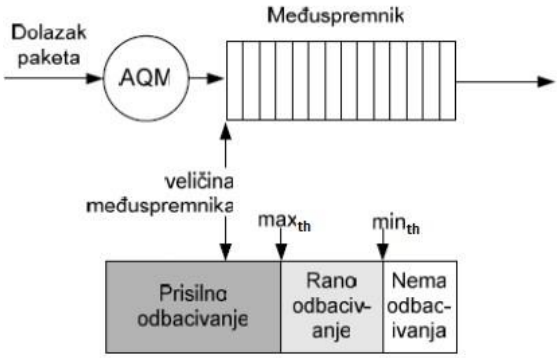
Front drop predstavlja mehanizam kod kojeg se novi paketi koji su pristigli u red čekanja pohranjuju u međuspremnik, dok se stariji paketi izbacuju iz reda čekanja.

Random drop predstavlja mehanizam kod kojeg se također čuvaju novo pristigli paketi a iz reda čekanja se izbacuju paketi na temelju slučajnog izbora.

Active Queue Management – AQM predstavlja tehnike za uspostavljanje optimalnog odnosa između smanjenja broja izgubljenih paketa i smanjenja kašnjenja u redovima čekanja. Kada je popunjen međuspremnik u komutacijskom čvoru može doći do dugotrajnih perioda zagušenja. To je naročito izraženo sa naglim povećanjem intenziteta prometa u telekomunikacijskoj mreži. AQM mehanizmi kao kriterij ne koriste fiksnu veličinu kapaciteta međuspremnika, već adaptivno smanjuju srednju vrijednost popunjenosti međuspremnika.

Postoji nekoliko različitih implementacija AQM mehanizma, a najpoznatiju i najkorišteniju verziju predstavlja AQM RED – *Random Early Detection*, odnosno slučajna

preventivna detekcija, koja je prikazana na slici 5. Koristi se sa protokolima kod kojih gubitak paketa predstavlja indikaciju zagušenja. U komutacijskim čvorovima vrši se promatranje trenutnog prometnog opterećenja i ukoliko dođe do povećanja intenziteta prometa AQM RED stohastički odbacuje pakete iz reda čekanja. Tako dolazi do odbacivanja novo pristiglih paketa prema probabilističkom zakonu koji se zasniva na prosječnoj veličini reda čekanja, i koji ne pravi razliku između pojedinih prometnih tokova.



Slika 5. AQM RED mehanizam upravljanja redovima čekanja

Izvor: [23]

Definirane su dvije granične vrijednosti za srednju veličinu reda čekanja. Jedna granična vrijednost predstavlja srednju vrijednost ispod koje niti jedan paket neće biti odbačen, a naziva se minimalni prag (min_{th}), dok druga vrijednost predstavlja veličinu reda čekanja iznad koje se odbacuju svi novo pristigli paketi, a ona se naziva maksimalni prag (max_{th}). Za redove čekanja čija se srednja vrijednost nalazi između ove dvije vrijednosti, vjerojatnost da će novo pristigli paket biti odbačen proporcionalna je srednjoj veličini reda [23].

5. Mrežne arhitekture *IntServ* i *DiffServ*

Internetska mreža izvorno je dizajnirana kako bi podržala *Best Effort* vrstu usluge. *Best Effort* predstavlja mrežnu uslugu gdje telekomunikacijska mreža ne pruža nikakvo jamstvo da su podaci uspješno dostavljeni na odredište ili da isporučeni podaci zadovoljavaju postavljene zahtjeve kvalitete usluge. Značajka takve vrste mrežne usluge je da se ne radi razlika između krajnjeg korisnika usluge i same aplikacije koju on koristi. Svi korisnici usluge na telekomunikacijskoj mreži imaju varijabilne vrijednosti brzine prijenosa, kašnjenja i gubitka paketa, a sve vrijednosti ovise o trenutnom prometnom opterećenju mreže.

S razvojem telekomunikacija dolazi do razvoja usluga koje mrežni operatori i davatelji usluga pružaju krajnjim korisnicima. Od tradicionalnih usluga prijenosa podataka, dolazi do pojave naprednijih aplikacija koje su osjetljive na same performanse telekomunikacijske mreže, te također imaju striktne zahtjeve koji su vezani uz parametre kvalitete usluge. Primjeri takvih aplikacija su videokonferencija, video na zahtjev (eng. *Video on Demand* – VoD) i Internet telefonija (eng. *Voice over IP* – VoIP).

Pojavom novih usluga dolazi do razvoja mrežnih arhitektura koje povezuju zahtijevani kapacitet prijenosa i zahtjeve za kvalitetom usluge, te omogućuju upravljanje situacijama pojave vršnih prometnih opterećenja u telekomunikacijskoj mreži, kao posljedica istovremenih zahtjeva za uslugom od strane različitih korisnika. Tako postoje dva osnovna mehanizma, ili mrežne arhitekture, koje mogu biti upotrijebljene za osiguravanje ugovorenih vrijednosti parametara kvalitete usluge, a to su:

- *Integrated Services – IntServ*
- *Differentiated Services – DiffServ* [26].

5.1. Mrežna arhitektura *IntServ*

Početkom 90-ih godina 20. stoljeća dolazi do izvođenja pokusnih istraživanja koji su za cilj imali istražiti ponašanje internetske mreže prilikom održavanja videokonferencija između većeg broja krajnjih korisnika. Iako su do tada već bili poznati problemi *Best Effort* mrežne arhitekture i njene nemogućnosti da zadovolji potrebe aplikacija koje se izvode u stvarnom vremenu, razvojem videokonferencije dolazi do potrebe stvaranja nove mrežne arhitekture.

IntServ mrežna arhitektura tako je razvijena za dodjelu mrežnih resursa kako bi se zadovoljile potrebe aplikacija koje se izvode u stvarnom vremenu. Iako je takva ideja već

ranije razvijena za potrebe drugih mrežnih tehnologija poput ATM mreža, predstavljala je zahtjevan izazov prilikom integriranja u postojeću Internetsku arhitekturu. Osnovni pristup predstavlja rezervaciju mrežnih resursa za pojedini tok paketa ili za višestruke tokove paketa, sa glavnim ciljem očuvanja paketnog modela načina rada IP baziranih mreža sa pružanjem podrške rezervaciji mrežnih resursa u stvarnom vremenu.

IntServ mrežna arhitektura vodi se pretpostavkom da je glavni parametar kvalitete usluge koju ona mora osigurati krajnjem korisniku kašnjenje po pojedinačnom paketu informacije, odnosno definirana granica najvećeg kašnjenja pojedinačnog paketa koju će aplikacija moći podržati. Vrijeme isporuke paketa na odredište predstavlja jedan od najvažnijih čimbenika u procesu prijenosa paketa telekomunikacijskom mrežom. Mrežne aplikacije koje se izvode u stvarnom vremenu pokazale su se osjetljivijima na pakete koji su imali veće kašnjenje prilikom prijenosa. Moguće je definirati vrijednost najvećeg kašnjenja koju telekomunikacijska mreža može osigurati za određenu mrežnu aplikaciju, pa tako postoji mogućnost kratke odgode reprodukcije sadržaja aplikacije koja tada može biti postavljena na odgovarajuću razinu [26].

5.1.1. Klase *IntServ* usluga

Prema IntServ konceptu definirane su dvije osnovne vrste usluga, a to su:

- jamčene usluge (eng. *Guaranteed Service* – GS)
- usluge s kontroliranim opterećenjem (eng. *Controlled Load Service* – CLS)

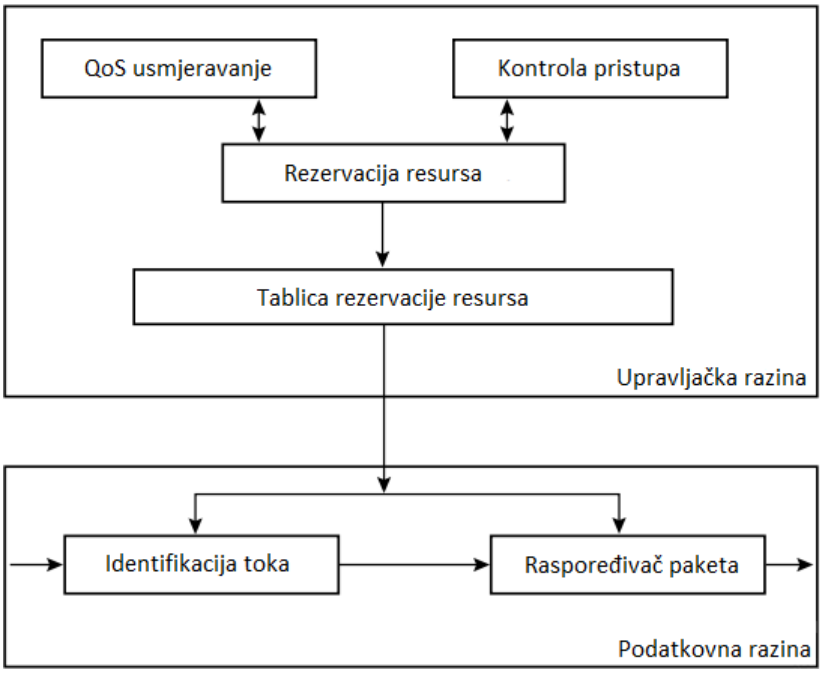
Jamčene usluge definiraju najveće dopušteno kašnjenje prilikom prijenosa paketa i minimalnu propusnost na svim elementima telekomunikacijske mreže od jednog do drugog kraja same mreže. Ta vrsta usluge namijenjena je aplikacijama koje se izvode u stvarnom vremenu i koje predstavljaju vremenski osjetljive aplikacije.

Usluge s kontroliranim opterećenjem omogućuju dijeljenje zajedničkog propusnog opsega između više prometnih tokova u uvjetima velikog opterećenja telekomunikacijske mreže. Ta vrsta usluge tako je namijenjena aplikacijama osjetljivim na prometna preopterećenja [27].

5.1.2. Ključne komponente *IntServ* arhitekture

Na slici 6 prikazane su glavne komponente u referentnom modelu za IntServ usluge. Sam model logički se može podijeliti u dvije razine, a to su upravljačka razina i razina podataka. Upravljačka razina odgovorna je za uspostavljanje rezervacije resursa u

telekomunikacijskoj mreži, a razina podataka odgovorna je za prosljeđivanje paketa prema odredištu na temelju stanja rezervacije resursa.



Slika 6. *IntServ* referentni model

Izvor: [26]

Upravljačka razina tako se sastoji od procesa rezervacije resursa koja je povezana sa usmjeravanjem koje se provodi na temelju tražene kvalitete usluge, te kontrole pristupa određenog prometnog toka telekomunikacijskoj mreži. Podatkovna razina sastoji se od mehanizama za identifikaciju prometnog toka te mehanizama raspoređivanja paketa [26].

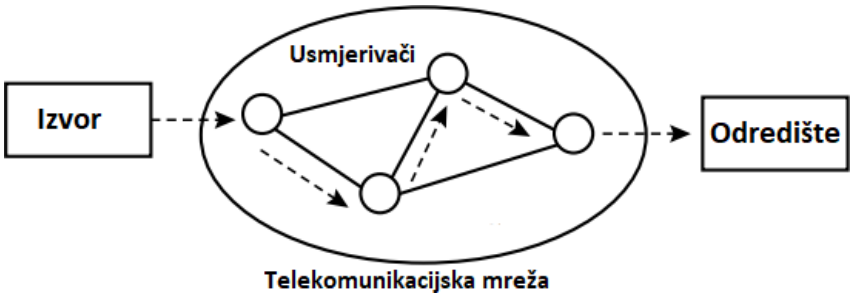
5.1.3. Rezervacija resursa

Kako bi mrežnoj aplikaciji bilo omogućeno slanje paketa, potrebno je uspostaviti rezervaciju resursa na putu od izvorišta do odredišta telekomunikacijske mreže. Prilikom procesa rezervacije resursa koristi se *Resource ReSerVation Protocol* – RSVP protokol. Koristi se od strane izvora informacije za dostavu zahtjeva za kvalitetom usluge komutacijskim čvorovima u mreži. Ne koristi se za prijenos samih podataka već kao kontrolni protokol i definira dvije vrste poruka koje se prenose, a to su *path message i resv message*.

Na slici 7 prikazan je jednostavan primjer rezervacije resursa od strane neke aplikacije. Prvo izvor informacije šalje *path message* poruku kojom najavljuje

telekomunikacijskoj mreži zahtjev za rezervacijom resursa. Unutar te poruke izvor informacije opisuje karakteristike prometnog toka i svoje zahtjeve za resursima telekomunikacijske mreže.

Mreža će prihvatiti zahtjev aplikacije za resursima samo ukoliko postoje slobodni mrežni resursi koji u potpunosti mogu zadovoljiti zahtjeve potražnje. Komutacijski čvorovi u telekomunikacijskoj mreži šalju *resv message* prema izvoru informacije kako bi ga obavijestili da je obavljena rezervacija resursa između dva komutacijska čvora, odnosno usmjerivača u telekomunikacijskoj mreži. Kada postoje rezervirani mrežni resursi između svih usmjerivača u telekomunikacijskoj mreži prijenos podataka između izvora i odredišta informacije može započeti [25].



Slika 7. Rezervacija mrežnih resursa na putu od izvora do odredišta informacije

Izvor: [26]

5.1.4. Kontrola pristupa

Kako bi telekomunikacijska mreža određenim mrežnim aplikacijama mogla osigurati tražene mrežne resurse ona mora konstantno nadzirati korištenje svojih resursa. Kontrola pristupa obavlja taj zadatak kao dio procesa rezervacije mrežnih resursa, te ima dvije osnovne funkcije. Prva funkcija je određivanje može li se uspostaviti nova rezervacija resursa na temelju pravila kontrole pristupa, a druga funkcija je praćenje i mjerenje raspoloživih mrežnih resursa.

Postoje dva osnovna pristupa za izvršavanje funkcija kontrole pristupa a to su pristup na temelju parametara te pristup na temelju mjerenja. Kod pristupa koji se temelji na parametrima za određivanje prometnih tokova koristi se definirani skup parametara, te se pomoću njih mogu izračunati potrebni mrežni resursi. Pristup koji se temelji na mjerenju koristi se za mjerenje stvarnog prometnog opterećenja u mreži i rezervacije mrežnih resursa na temelju tih mjerenja. Korištenjem ovog pristupa omogućeno je postizanje bolje iskorištenosti mrežnih resursa [26].

5.1.5. Identifikacija toka

Prilikom procesa obrade paketa usmjerivač ispituje svaki dolazni paket i provjerava pripada li on određenom prometnom toku. Svaki paket određen je sa podacima u zaglavlju paketa, a podaci koji su potrebni za određivanje kojem toku paket pripada su:

- Izvorišna i odredišna IP adresa paketa
- ID protokola
- Broj izvorišnog i odredišnog porta

Usmjerivač tako provjerava podatke iz zaglavlja paketa sa podacima koji su upisani u tablici rezervacije resursa. Ukoliko postoji određena podudarnost između podataka u zaglavlju paketa i podataka upisanih u tablici rezervacije resursa, usmjerivač će paket proslijediti do raspoređivača paketa koji će paket smjestiti u određeni prometni tok [26].

5.1.6. Raspoređivač paketa

Predstavlja posljednji korak prilikom procesa rezervacije resursa jer je izravno odgovoran za provođenje procesa alokacije resursa. Tako izravno utječe na kašnjenje koje će određeni paket doživjeti prilikom prijenosa podataka. Na temelju procesa identifikacije prometnog toka on donosi odluku koji paket će biti prenesen putem telekomunikacijske mreže kada se oslobodi za to potrebna veza [26].

5.2. Mrežna arhitektura *DiffServ*

DiffServ mreža arhitektura razvijena je kao odgovor na potrebu za jednostavnim metodama pružanja različitih razina kvalitete usluga, koje će omogućiti podršku različitim vrstama aplikacija i njihovim specifičnim zahtjevima. *Best Effort* usluge i *IntServ* mrežna arhitektura predstavljaju dvije krajnosti procesa raspodjele resursa, *Best Effort* usluge raspodjelu resursa temelje na pojedinačnom paketu dok *IntServ* raspodjelu resursa temelji na prometnim tokovima podataka.

Kod *DiffServ* mrežne arhitekture promet je podijeljen na manji broj grupa koje se nazivaju klase prosljeđivanja (eng*. forwarding class*). Svaka klasa prosljeđivanja predstavlja unaprijed definirani postupak prosljeđivanja paketa uzimajući u obzir prioritet određenog paketa te propusnu sposobnost mreže [26].

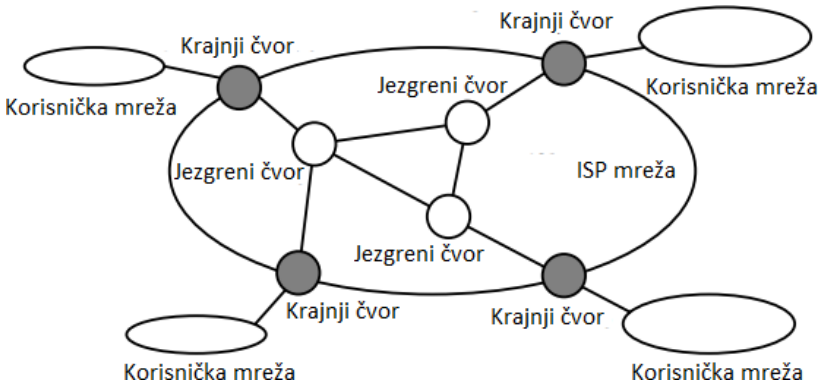
DiffServ mrežna arhitektura temelji se na pretpostavci da je Internet skup neovisnih mreža koje su upravljane od strane jednog pružatelja internetskih usluga (eng. *Internet*

Service Provider – ISP). Pod jednom mrežom u tom slučaju može se smatrati homogeno područje s određenim nadzorom upravljanja, te određenom tehnologijom i kapacitetom prijenosa. Ona se također temelji i na jednostavnom modelu gdje se promet prilikom prolaska kroz mrežu klasificira u ranije navedene klase usluga te se označuje na granicama mreže, ovisno o ugovoru o razini kvalitete usluge [27].

5.2.1. Elementi *DiffServ* arhitekture

DiffServ mrežna arhitektura prikazana na slici 8, sastoji se od dvije vrste elemenata, a to su krajnji elementi mreže (eng. *Boundary node*) i elementi jezgrene mreže (eng. *Interior node*). Osnovna razlika između navedenih elemenata su različite odgovornosti koje su im dodijeljene.

Krajnji čvorovi obavljaju funkcije klasifikacije mrežnog prometa i prilagođavanja prometa uvjetima na mreži. Tako su im dodijeljene odgovornosti mapiranja paketa određenoj klasi prosljeđivanja, provjeravanje odgovara li prometni tok zahtjevima definiranim propisanim ugovorima razine usluge te odbacivanje paketa. Jezgrenim čvorovima dodijeljene su odgovornosti vezane uz prosljeđivanje paketa mrežom, a tu pripadaju funkcije upravljanja redovima čekanja i tehnike raspoređivanja paketa [27].



Slika 8. Prikaz krajnjih čvorova i jezgenih čvorova ISP mreže

Izvor: [26]

Nakon što su paketi klasificirani na krajnjim čvorovima mreže oni se do odredišta prenose jezgrenim čvorovima na temelju *Per-Hop Behavior* – PHB vrijednosti koja se odnosi na polje *Differentiated Service Code Point* – DSCP paketa. PHB označava kakav tretman imaju određeni paketi prilikom prosljeđivanja u komutacijskim čvorovima mreže, kada se prenose jezgrenom mrežom koja podržava diferencijaciju samih usluga. Jezgrena mreža predstavlja homogeno područje jedne domene i njen osnovi zadatak je

prosljeđivanje paketa prema definiranim pravilima. Od nje se očekuje da pakete koji pripadaju istoj klasi prosljeđivanja tretira na jednak način prilikom njihovog prolaska kroz čvorove jezgrene mreže.

Združivanje prometnih tokova (eng. *aggregation*) i označavanje paketa čine samu jezgrenu mrežu jednostavnijom. Paketi se tretiraju na temelju DSCP vrijednosti, a paketi sa istom DSCP vrijednosti biti će stavljeni u određenu skupinu naziva *Behavior Aggregate* – BA. Upotreba BA skupina u jezgrenoj mreži zahtjeva manju količinu mrežnih resursa i manje mrežne inteligencije, te su fleksibilniji i skalabilniji u odnosu na mehanizme koji se temelje na prometnom toku, odnosno *IntServ* mrežnu arhitekturu.

5.2.2. *Per-Hop Behavior* – PHB

Kako je ranije navedeno PHB označava kakav tretman *Label Switched Path* imaju određeni paketi prilikom prosljeđivanja u komutacijskim čvorovima mreže, a *DiffServ* mrežna arhitektura definira dvije vrste PHB-a, a to su:

- PHB sa ubrzanim prosljeđivanjem (eng. *Expedited Forwarding* – EF)
- PHB sa sigurnim prosljeđivanjem (eng. *Assured Forwarding* – AF).

PHB sa ubrzanim prosljeđivanjem predstavlja način posluživanja koje će garantirati vršni protok. Koristi se kako bi se osiguralo posluživanje apsolutno garantirane kvalitete usluge od jednog do drugog kraja mreže sa malim gubitcima paketa, kašnjenjem i kolebanjem kašnjenja i zagarantiranim propusnim opsegom mreže.

PHB sa sigurnim prosljeđivanjem pruža relativna jamstva kvalitete usluga koja se zasnivaju na određenim statističkim preduvjetima. Ovim načinom prosljeđivanja predviđeno je postojanje više klasa usluge unutar kojih u određeni prioriteti sa ciljem izbjegavanja dugotrajnog zagušenja mreže [27].

5.2.3. Klasifikacija prometa i prilagođavanje prometa uvjetima

Klasifikacija predstavlja proces odabira paketa prema specificiranim pravilima. Klasifikacija mrežnog prometa i akcije prilagođavanja prometa uvjetima na mreži uglavnom se odvijaju u graničnim čvorovima mreže, na samom ulazu paketa u čvor.

Prilagođavanje prometa uvjetima izvodi se mjerenjima, oblikovanjem i funkcijama upravljanja. To se provodi kako bi se osiguralo da se mrežni promet koji ulazi u domenu DS (eng. *Differentiated Services*) usluga ponaša prema pravilima specificiranim u ugovoru o prilagodbi prometa uvjetima (eng. *Traffic Conditioning Agreement* – TCA). TCA tako određuje akcije koje se izvode pri klasifikaciji mrežnog prometa i prilagodbe uvjetima a izvodi se iz SLA ugovora.

Prilikom mjerenja potrebno je utvrditi jesu li paketi unutar profila (eng. *in-profile*) ili izvan profila (eng. *out-of-profile*), gdje profil označava mjere postavljene SLA ugovorom. Ako je paket označen kao izvan profila on će poprimiti veću vrijednost prioriteta prilikom ispuštanja unutar iste klase usluga. Paket koji je označen unutar profila će poprimiti manju vrijednost prioriteta ispuštanja te će biti posljednji paket koji će biti ispušten unutar klase usluga.

Klasificirani promet zatim se razvrstava prema razinama različite važnosti a mjerač prometa mjeri klasificirani promet te ga uspoređuje s ranije definiranim prometnim profilima. Najčešće se u procesu mjerenja koriste *Token bucket* i eksponencijalna ponderirana pomična sredina (eng. *Exponencial Weighted Moving Average* – EWMA) [27].

6. Mrežna arhitektura MPLS

Multi Protocol Label Switching – MPLS predstavlja tehniku usmjeravanja paketa kod koje se paket usmjerava na temelju kratkih oznaka koje se stavljaju ispred zaglavlja samog paketa. Razvijen je krajem 90.-ih godina 20. stoljeća kao alternativa IP usmjeravanju paketa koje od svakog usmjerivača zahtjeva samostalno određivanje sljedećeg skoka paketa u telekomunikacijskoj mreži. Skok se određuje na temelju odredišne IP adrese koja je upisana u zaglavlju paketa, a određuje se tako da usmjerivač pretražuje vlastitu tablicu usmjeravanja te na temelju rezultata pretrage određuje gdje će proslijediti paket [28].

Korištenjem MPLS protokola smanjuje se vrijeme pretraživanja IP adresa zato što samo prvi usmjerivač obavlja IP pretragu a ostali usmjerivači vrše prosljeđivanje paketa na temelju oznake koju je dodijelio prvi usmjerivač u mreži. MPLS protokolom dolazi do ubrzavanja prijenosa prometnih tokova i reduciranja mrežnog prometa na jezgrenim usmjerivačima [29].

6.1. Značajke MPLS oznaka

MPLS protokol nalazi se između podatkovnog i mrežnog sloja OSI referentnog modela (eng. *Open Systems Interconnection* – OSI), pa se oznake umeću između zaglavlja podatkovnog i mrežnog sloja kako je prikazano na slici 9, koja prikazuje strukturu paketa sa MPLS zaglavljem.

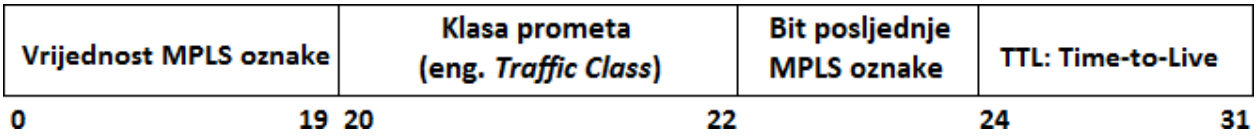


Slika 9. Struktura paketa sa MPLS zaglavljem

Izvor: [29]

6.1.1. Struktura MPLS oznake

Sama oznaka sadrži informacije koje usmjerivači u MPLS mreži koriste za prosljeđivanje paketa prema odredištu. Struktura MPLS oznake prikazana je na slici 10. Sama oznaka sastoji se od 32 bita podijeljenih u četiri skupine, tako da prvih dvadeset bitova označava vrijednost MPLS oznake, sljedeća tri bita označavaju klasu prometa (eng. *Traffic Class* – TC) koji se prenosi povezanu sa QoS vrijednostima , bit koji označava posljednju oznaku u nizu, te posljednjih osam bitova koji označavaju TTL (eng. *Time To Live* – TTL), odnosno broj preostalih skokova paketa u mreži [29].

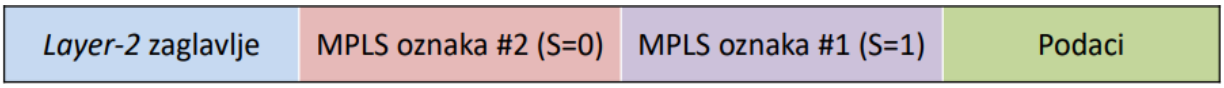


Slika 10. Struktura MPLS oznake

Izvor: [29]

6.1.2. Slaganje MPLS oznaka

MPLS protokol također omogućuje slaganje MPLS oznake na već postojeću MPLS oznaku kako je prikazano na slici 11, a taj proces se naziva slaganje oznaka (eng. *stack*). Slaganje oznaka omogućuje tuneliranje podataka koji se prenose jednim virtualnim kanalom sa podacima drugog virtualnog kanala gdje se oni zatim prenose zajedno. Proces komutacije paketa u slučaju slaganja oznaka uvijek se vrši na temelju najviše oznake u složaju [29].



Slika 11. MPLS slaganje oznaka

Izvor: [29]

6.1.3. Operacije sa MPLS oznakama

Postoje tri vrste operacija koje usmjerivači mogu izvoditi sa oznakama, a to su:

- dodavanje oznake (eng. *push*)
- zamjena oznake (eng. *switch*)

- uklanjanje oznake (eng. *pop*).

Dodavanje oznake obično se obavlja prilikom ulaska paketa u MPLS mrežu gdje se postojećem IP paketu dodaje MPLS oznaka prema kojoj se on usmjerava dalje MPLS mrežom. Zamjena oznake obavlja se prilikom procesa komutacije paketa u MPLS mreži, a oznaka se uklanja prilikom napuštanja paketa iz MPLS mreže [29].

6.1.4. Dodjeljivanje i razmjena MPLS oznaka

Za ostvarivanje procesa razmjene i dodjeljivanja MPLS oznaka određenoj grupi paketa primarno se koriste sljedeći protokoli:

- *Label Distribution Protocol* – LDP
- *Resource ReSerVation Protocol with Traffic Engineering Extension* – RSVP-TE.

LDP pripada grupi signalizacijskih protokola a predstavlja protokol koji se koristi za generiranje i razmjenu postojećih MPLS oznaka između usmjerivača u MPLS mreži, te mapiranje postojećih MPLS oznaka. Distribucija oznaka ovim protokolom može se obavljati na dva načina. Prvi način predstavlja *hop-by-hop* razmjenu oznaka gdje se oznake između usmjerivača razmjenjuju na njihov zahtjev. Drugi način predstavlja *broadcast* način razmjene oznaka gdje svaki usmjerivač dijeli svoje oznake sa ostalim usmjerivačima.

RSVP–TE predstavlja protokol koji se prvenstveno koristi za rezervaciju potrebnih kapaciteta u telekomunikacijskoj mreži. Kod MPLS mreže on je također postao *de facto* protokol za distribuciju MPLS oznaka. Tako se u MPLS mreži koristi za signalizaciju između MPLS mrežnih usmjerivača kako bi se uspostavio LSP (eng- *Label Switched Path* – LSP) određenog kapaciteta i kako bi se između usmjerivača mogle razmjenjivati odgovarajuće MPLS oznake [29].

6.2. Elementi MPLS mreže

MPLS mreža sastoji se od dvije različite vrste usmjerivača koji ovisno o njihovoj poziciji u mreži obavljaju različite zadatke. MPLS mreža osim usmjerivača sadrži i virtualni kanal koji omogućuje prijenos MPLS prometa mrežom povezujući sve usmjerivače koji se nalaze u MPLS mreži.

MPLS usmjerivači tako se dijele na [29]:

- *Label Edge Router* – LER

- *Label Switching Router* – LSR

6.2.1. *Label Edge Router* – LER

LER predstavlja usmjerivač koji se u MPLS mreži nalazi na rubnim dijelovima mreže te se koristi kao mrežni pristupnik povezujući lokalnu mrežu korisnika sa nekom vanjskom mrežom ili Internet mrežom. LER tako upravlja ulaznim i izlaznim mrežnim prometom [30].

LER je odgovoran za klasifikaciju dolaznog IP prometa i povezivanje prometa sa odgovarajućom MPLS oznakom. LER koji se nalazi na ulaznom dijelu mreže će dodavanjem odgovarajuće oznake pretvoriti IP pakete u MPLS pakete, a ulazni LER još se naziva i *ingress node*. On je također odgovoran za pronalazak putanje, odnosno rute u mreži kojom će se paket prenositi do odredišta.

LER koji se nalazi na izlaznom kraju mreže još se naziva i *egress node* a njegova zadaća je uklanjanje postojeće MPLS oznake te prosljeđivanje paketa dalje u mrežu, tako da se daljnji prijenos paketa vrši IP komutacijom sve dok paket ne stigne do odredišta [31].

6.2.2. *Label Switch Router* – LSR

LSR predstavlja usmjerivač koji podržava MPLS usmjeravanje i koji se nalazi u jezgrenom dijelu MPLS mreže. Kada paketi stignu u LSR usmjerivač oni se prvo pregledavaju da bi se utvrdilo postojanje MPLS oznake. Kada je potvrđeno da se MPLS oznaka nalazi na određenom paketu LSR će na temelju oznake izvršiti prosljeđivanje paketa prema sljedećem LSR usmjerivaču i tako sve dok paket ne stigne do odredišta.

LSR također obavlja zamjenu postojeće MPLS oznake koja se nalazi na paketu. Da bi to učinio on po primitku paketa pretražuje svoju LIB (eng. *Label Information Base* – LIB) tablicu prosljeđivanja, te na temelju uputa iz tablice obavlja zamjenu MPLS oznaka [31].

6.2.3. *Label Switched Path* – LSP

LSP predstavlja virtualni kanal kojim se prenosi MPLS promet u MPLS mreži i koji povezuje LER usmjerivače sa LSR usmjerivačima, te LSR usmjerivače sa drugim LSR usmjerivačima.

Kako bi se MPLS promet mogao prenositi putem LSP–a on prvo mora biti definiran između dva usmjerivača u mreži te se koristi kao *point-to-point* veza između njih. Nakon što je LSP definiran on se također može namijeniti za prijenos određene klase prometa na temelju QoS zahtjeva.

LSP se također koristi za prijenos prometa koji nastaje prijenosom paketa koji pripadaju istoj klasi prosljeđivanja paketa (eng. *Forward Equivalence Class* – FEC). FEC predstavlja skup paketa koji su povezani nekim zajedničkim atributom poput oznake, izlaznog sučelja, discipline posluživanja ili sljedećeg skoka prilikom prosljeđivanja paketa, pa ih je potrebno proslijediti MPLS mrežom na isti način. LSP se tako povezuje sa određenom FEC klasom prometa kako bi paketi koji pripadaju određenoj FEC klasi mogli slijediti definiranu rutu u MPLS mreži [29].

6.3. MPLS mreža i kvaliteta usluge

Prije nego davatelj usluga započne sa pružanjem MPLS kvalitete usluga svojim korisnicima, od njega se očekuje da pažljivo procijeni što svojim korisnicima on može osigurati i zajamčiti prije početka isporuke same usluge. Postoje dva osnovna QoS modela koja koriste davatelji usluga u MPLS mrežama, a to su:

- model cijevi (eng. *pipe model*)
- model crijeva (eng. *hose model*)

Model cijevi predstavlja sličan model korišten u *Frame Relay* ili ATM mrežama. Ovaj model predstavlja pružanje kvalitete usluge na virtualnom kanalu koja *point-to-point* vezom povezuje dvije različite točke u telekomunikacijskoj mreži.

Model crijeva predstavlja model pružanja određene kvalitete usluge za uzlazni i silazni promet za svaku web lokaciju. Na primjer davatelj usluga može jamčiti da će isporučiti 10 Mb/s prometa koji šalje određena web lokacija bez obzira na odredišnu lokaciju prometa. Problem nastaje kada web lokacija šalje veliku količinu prometa, na primjer ukoliko web aplikacija velike brzine pošalje video od 100 Mb/s na web lokaciju male brzine, većina prometa biti će izgubljena prije nego bude isporučena, a to će se učiniti bez kršenja jamstva kvalitete usluge [32].

6.4. Implementacija kvalitete usluge u MPLS mreži

Sve implementacije MPLS kvalitete usluge koriste *DiffServ* model usluga. Usmjerivači u MPLS mreži koriste tri bita u zaglavlju MPLS paketa kako bi razlikovali

mrežni promet koji se prenosi MPLS mrežom. Tri bita nose naziv eksperimentalni bitovi (eng. *experimental bits*), a omogućuju kreiranje osam prometnih klasa za razlikovanje mrežnog prometa. Također jedna kombinacija bitova ranije je definirana za određenu klasu mrežnog prometa pa je davatelju usluga omogućeno kreiranje sedam prometnih klasa. Klasifikacija prometa u navedene klase obavlja se u rubnim usmjerivačima MPLS mreže.

Algoritam koji se koristi za klasifikaciju prometa promijenit će DSCP vrijednost u zaglavlju IP paketa tako da se paketi mogu prenositi MPLS mrežom. Paketi se tako MPLS mrežom prenose MPLS eksperimentalnim bitovima koji se nalaze u zaglavlju paketa, a vrijednost eksperimentalnih bitova odgovara DSCP vrijednosti u zaglavlju IP paketa. Takav pristup naziva se *uniform mode* jer MPLS eksperimentalni bitovi odgovaraju DCSP vrijednosti IP paketa. MPLS eksperimentalni bitovi također se koriste za sortiranje samih paketa u redove čekanja s različitim vrijednostima QoS parametara ili za provedbu procesa selektivnog odbacivanja paketa iz reda čekanja ukoliko se radi o zagušenju u telekomunikacijskoj mreži [32].

7. Zaključak

Na današnjem telekomunikacijskom tržištu krajnji korisnici postaju svjedoci sve većeg napretka značajki usluga koje su im omogućene od njihovih davatelja usluga. Samim time krajnji korisnici postavljaju sve veće zahtjeve pred davatelje usluga kako bi se zadovoljile njihove potrebe. Porastom korištenja usluga koje se izvode u stvarnom vremenu poput video poziva i *streaming* video sadržaja, pouzdan i pravovremen prijenos podataka postaje prioritetom telekomunikacijske mreže.

Ovim završnim radom prikazani su osnovni mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluge kao što su kontrola prometnog toka, kontrola zagušenja i oblikovanje mrežnog prometa koji omogućuju davateljima usluga isporuku dogovorene razine kvalitete usluge. Završni rad također prikazuje mrežne arhitekture koje na određeni način upravljaju navedenim mehanizmima.

Mrežne arhitekture kao i osnovi mehanizmi osiguranja kvalitete usluge predstavljaju osnovni način telekomunikacijske mreže da pruži dogovorenu razinu kvalitete usluge. U slučaju nepoštivanja dogovorenih uvjeta davatelji usluga mogu snositi ozbiljne posljedice koje u krajnjoj mjeri mogu značiti i gubitak određenog broja korisnika nezadovoljnih pruženom razinom kvalitete usluge.

Best Effort mrežna arhitektura tako predstavlja jedan od početnih mehanizama za osiguravanje i isporuku dogovorene razine usluge, no zbog svojih nedostataka prilikom isporuke mrežnog prometa zahtjevnijih web aplikacija zamijenjen je mrežnim arhitekturama *IntServ* i *DiffServ*. Navedene mrežne arhitekture omogućuju bolje upravljanje procesom isporuke dogovorene razine kvalitete usluge određenim načinima prioritiziranja i klasificiranja mrežnog prometa. Mrežna arhitektura MPLS, iako se temelji na modelu rada *DiffServ* usluga, predstavlja ozbiljan napredak u procesu usmjeravanja i prijenosa paketnog prometa u telekomunikacijskim mrežama.

Zbog sve veće potražnje za uslugama koje omogućuju prijenos velike količine podataka u stvarnom vremenu i razvojem novih usluga doći će do sve većih zahtjeva koje će telekomunikacijska mreža trebati zadovoljiti. Samim time u budućnosti će se od inženjera u telekomunikacijskom području tražiti stvaranje novih i neprestano unaprjeđenje postojećih mrežnih arhitektura, kako bi se omogućio normalan rad telekomunikacijske mreže.

LITERATURA

[1] International Telecommunication Union. *Teletraffic Engineering Handbook*. Ženeva: Telecommunication Development Sector; 2006. Preuzeto sa: https://web.archive.org/web/20070111015452/http://oldwww.com.dtu.dk/teletraffic/handbook/telenook.pdf [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[2] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-T E.800. *Definitions of terms related to quality of service*. Ženeva: Telecommunication standardization sector of ITU; 2008. Preuzeto sa: https://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[3] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-T X.902. *Information technology – Open Distributed Processing – Reference model: Foundations*, Ženeva: Telecommunication standardization sector of ITU; 2009. Preuzeto sa: https://www.itu.int/rec/T-REC-X.902/en [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[4] European Telecommunications Standards Institute. *User Group;End-to-end QoS management at the Network Interfaces; Part 1: User's E2E QoS - Analysis of the NGN interfaces (user case)*, Sophia Antipolis: European Telecommunications Standards Institute. Broj izvještaja: 102 805-1-V1.1.1, 2009. Preuzeto sa: https://www.etsi.org/deliver/etsi_TR/102800_102899/10280501/01.01.01_60/tr_10280501v010101p.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2019]

[5] Cisco. *Enterprise QoS Solution Reference Network Design Guide*. Preuzeto sa: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book.html [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[6] Mrvelj Š. *Ciljevi razine usluge QoS/GoS/NP*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.

[7] Verma DC. *Service Level Agreements on IP Networks*. Proceedings of the IEEE. 2004;92(9): 1382 – 1388.

[8] Master of Project Academy. *3 Most Common Types of Service Level Agreement (SLA)*. Preuzeto sa: https://blog.masterofproject.com/3-types-sla/ [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[9] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-T E.600. *Terms and definitions of traffic engineering*, Ženeva: Telecommunication standardization sector of ITU; 1988. Preuzeto sa: https://www.itu.int/rec/T-REC-E.600-198811-S/en [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[10] Brunnström K, Beker SA, de Moor K, Dooms A, Egger S, et al.. *Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience*. Qualinet: European network on quality of

experience in multimedia systems and services. Novi Sad, 2013. Preuzeto sa: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00977812/document [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[11] El Zarki M. *QoS and QoE*. Autorizirana predavanja. University of California, Irvine. Preuzeto sa: https://www.ics.uci.edu/~magda/cs620/ch8.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[12] Mrvelj Š. *Predmet proučavanja i temeljni pojmovi*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.

[13] Comparitech. *Throughput vs Bandwidth: Understanding the Difference Plus Tools.* Preuzeto sa: www.comparitech.com/net-admin/throughput-vs-bandwidth/#What_is_Throughput [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[14] Ipwithease. *Bandwidth vs Throughput*. Preuzeto sa: https://ipwithease.com/bandwidth-vs-throughput/ [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[15] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-T Y.1540. *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*. Ženeva: Telecommunication standardization sector of ITU; 2016. Preuzeto sa: https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1540 [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[16] PCWDLD*. Packet Loss – What is it, How to Diagnose and Fix It in your Network.* Preuzeto sa: https://www.pcwdld.com/packet-loss [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[17] Vyopta. *Troubleshooting packet loss: How much is an acceptable amount?*. Preuzeto sa: https://www.vyopta.com/blog/video-conferencing/understanding-packet-loss/ [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[18] Mrvelj Š. *Internet*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.

[19] GeeksforGeeks. *Packet Switching and Delays in Computer Network.* Preuzeto sa: https://www.geeksforgeeks.org/computer-network-packet-switching-delays/ [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[20] Chen Y, Farley T, Ye N. *QoS Requirements of Network Applications on the Internet*. Tempe: Department of Industrial Engineering, Arizona State University; 2004. Preuzeto sa: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.475.9277&rep=rep1&type=pdf [Pristupljeno: kolovoz 2019]

[21] Streijl RC, Winkler S, Hands DS. *Mean Opinion Score (MOS) revisited: Methods and applications, limitations and alternatives*. Multimedia Systems; 2016. Preuzeto sa: https://stefan.winklerbros.net/Publications/mmsj2016.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2019]

[22] Mrvelj Š. *Komutacijski i transmisijski sustavi paketne mreže*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.

[23] Čolaković A. *Kratak pregled nekih od osnovnih QoS mehanizama u paketskim mrežama*, Fakulteta za saobraćaj i komunikacije Sveučilišta u Sarajevu; 2011.

[24] Mrvelj Š. *Teleprometno inženjerstvo*, Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018

[25] StackPath. *What is TCP Slow Start?*. Preuzeto sa: https://blog.stackpath.com/tcp-slow-start/ [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[26] Wang Z. *Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers; 2001.

[27] Mrvelj Š. *Promet u Internet mreži*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2009.

[28] TechTarget. *Multiprotocol Label Switching (MPLS).* Preuzeto sa: searchnetworking.techtarget.com/definition/Multiprotocol-Label-Switching-MPLS [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[29] Forenbacher I. *Quality of Service (QoS) komutacija*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.

[30] Techopedia. *Label Edge Router (LER).* Preuzeto sa: https://www.techopedia.com/definition/20281/label-edge-router-ler [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[31] DatacomBasic. *MultiProtocol Label Switching (MPLS).* Preuzeto sa: http://datacombasic.blogspot.com/2011/04/multi-protocol-label-switching-mpls.html?utm_source=BP_recent [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[32] TechTarget. *MPLS QoS: Technical advances and service guarantees*. Preuzeto sa: https://searchnetworking.techtarget.com/feature/MPLS-QoS-Technical-advances-and-service-guarantees [Pristupljeno: srpanj 2019.]

POPIS KRATICA

QoS – Quality of Service

ITU – International Telecomunication Union

ETSI – European Telecommunications Standards Institute

SLA – Service Level Agreement

GoS – Grade of Service

QoE – Quality of experience

BS – Busy Hour

NP – Network performanse

MOS – Mean Opinion Score

FTP – File Transfer Protocol

MPEG – Moving Picture Experts Group

TCP – Transmission Control Protocol

RTO – Retransmission Timeout

RTT – Round Trip Time

UDP – User Datagram Protocol

RTP – Real-Time Protocol

RTCP – Real-Time Control Protocol

FIFO – First In First Out

CBQ – Class Based Queuing

RR – Round Robin

WRR - Weighted Round Robin

FQ – Fair Queuing

PO – Priority Queuing

AQM – Active Queue Management

RED – Random Early Detection

VoD – Video on Demand

VoIP – Voice over IP

RSVP – Resource ReSerVation Protocol

IntServ – Integrated Services

DiffServ – Differentiated Services

GS – Guaranteed Service

CLS – Controlled Load Service

ISP – Internet Service Provider

PHB – Per-Hop Behavior

DSCP – Differentiated Service Code Point

BA – Behavior Aggregate

EF – Expedited Forwarding

AF – Assured Forwarding

DS – Differentiated Services

TCA – Traffic Conditioning Agreement

MPLS – Multi Protocol Label Switching

IP – Internet Protocol

OSI – Open Systems Interconnection

TC – Traffic Class

TTL – Time To Live

LDP – Label Distribution Protocol

RSVP – TE – Resource ReSerVation Protocol with Traffic Engineering Extension

LER – Label Edge Router

LSR – Label Switching Router

LSP – Label Switched Path

LIB – Label Information Base

FEC – Forward Equivalence Class

POPIS SLIKA

Slika 1. Odnos širine pojasa i propusnosti 12
Slika 2. Prikaz procesa oblikovanja prometa 19
Slika 3. WRR algoritam posluživanja redova čekanja 23
Slika 4. *DropTail* mehanizam upravljanja redovima čekanja 24
Slika 5. AQM RED mehanizam upravljanja redovima čekanja 25
Slika 6. *IntServ* referentni model 28
Slika 7. Rezervacija mrežnih resursa na putu od izvora do odredišta informacije 29
Slika 8. Prikaz krajnjih čvorova i jezgenih čvorova ISP mreže 31
Slika 9. Struktura paketa sa MPLS zaglavljem 34
Slika 10. Struktura MPLS oznake 35
Slika 11. MPLS slaganje oznaka 35

POPIS TABLICA

Tablica 1. Granične vrijednosti parametara kvalitete usluge 15
Tablica 2. Prikaz MOS vrijednosti i zadovoljstva korisnika 17

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Mehanizmi za osiguravanje kvalitete informacijsko - komunikacijskih usluga**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 11.7.2019

(potpis)