Metode i alati za provjeru i testiranje kvalitete usluge

Pavin, Sara

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:721911

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

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

Sveučilišni studij

METODE I ALATI ZA PROVJERU I TESTIRANJE KVALITETE USLUGE

Završni rad

Sara Pavin

Osijek, 2016.

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
1.1. Zadatak završnog rada 2
2. ZNAČAJKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA 3
2.1. Koncept višeuslužnih mreža 3
2.1.1. Razvoj i arhitektura višeuslužnih mreža 3
2.1.2. OSI model 5
2.1.3. TCP/IP model 8
3. MREŽNE USLUGE 10
3.1. Podatkovne usluge 10
3.2. Glasovne usluge 11
3.3. Video usluge 12
4. KVALITETA USLUGE U IP MREŽAMA 14
4.1. SLA (Service Level Agreement) 14
4.2. Parametri QoS-a 15
4.2.1. Propusnost 15
4.2.2. Kašnjenje 16
4.2.3. Varijacije kašnjenja 17
4.2.4. Gubici 17
4.3. Iskustvena kvaliteta usluge – QoE 18
4.3.1. Vrednovanje iskustvene kvalitete 19
5. ARHITEKTURA KVALITETE USLUGA I MEHANIZMI REALIZACIJE QOS-A 22
5.1. Mehanizmi kontrolne razine 23
5.2. Mehanizmi razine upravljanja 25
5.3. Mehanizmi na razini podataka 25
6. IMPLEMENTACIJA MEHANIZAMA ZA OSIGURANJE QOS-A 29
6.1. Model integriranih usluga (Int-Serv) 29
6.2. Model diferenciranih usluga (Differentiated Services) 30
6.3. MPLS (Multiprotocol Label Switching) 31
7. METODE MJERENJA KVALITETE USLUGE 33
7.1. Subjektivne metode mjerenja kvalitete usluge 33
7.2. Objektivne metode mjerenja kvalitete usluge 34
8. MJERENJE KVALITETE USLUGE ZA TIPIČNE MREŽNE APLIKACIJE 37
8.1. QoS zahtjevi podatkovnih aplikacija 38
8.2. QoS zahtjevi kod glasovnih aplikacija 40

8.3. QoS zahtjevi kod video aplikacija 42
9. ZAKLJUČAK 50
LITERATURA 52
SAŽETAK 56
ABSTRACT 56
ŽIVOTOPIS 57

1. UVOD

Višeuslužne mreže su telekomunikacijske mreže koje omogućavaju korištenje više od jedne aplikacije putem iste prijenosne infrastrukture. Najpoznatija takva mreža je Internet. Kada je u pitanju QoS, korisnici telekomunikacijskih usluga sve su zahtjevniji. QoS (Quality of Service) ima značenje kvaliteta usluga i danas je jedan od najčešće korištenih pojmova u području telekomunikacija. Telekomunikacijska industrija sve se više temelji na prilagođavanju zahtjevima korisnika kako bi zadržala trend brzog razvoja i jedne od najprofitabilnijih privrednih grana. Kod mreža se javlja problem osiguranja kvalitete usluge. Za rješavanje navedenog problema, razvijeni su različiti mehanizmi za osiguranje parametara kvalitete u različitim tehnologijama.

Rad je podijeljen u 8 cjelina.

1. Uvod
2. Značajke višeuslužnih mreža
3. Mrežne usluge
4. Kvaliteta usluge u IP mrežama
5. Arhitektura kvalitete usluga i mehanizmi realizacije QoS-a
6. Implementacija mehanizama za osiguranje QoS-a
7. Metode mjerenja kvalitete usluge
8. Mjerenje kvalitete usluge za tipične mrežne aplikacije
9. Zaključak.

Budući da je Internet vrsta višeuslužne mreže, u drugom poglavlju opisan je razvoj višeuslužnih mreža te razlozi zbog kojih su one nastale. Detaljno je opisana i arhitektura ovih mreža, te modeli na kojima su zasnovane.

U trećem poglavlju objašnjen je razvoj interneta te tri vrste dostupnih usluga. Za svaku vrstu navedene su njihove podjele i opisani načini funkcioniranja. Shvaćanje toga je vrlo bitno jer svaka od usluga ima različite zahtjeve za kvalitetom.

U četvrtom poglavlju objašnjen je pojam kvalitete usluge. Koncept osiguranja kvalitete usluge ima vrlo važnu uslugu, jer bez njega ne bi bilo moguće ostvariti očekivanja korisnika. Također, navedeni su i opisani parametri koje svaka od usluga mora zadovoljiti.

U petom poglavlju opisani su mehanizmi za osiguranje mrežnih QoS parametara u različitim tehnologijama uz analizu njihovih karakteristika, prednosti i nedostataka kao i načina implementacije. Mehanizmi za realizaciju kvalitete usluge ovise o korištenoj tehnologiji te svaka tehnologija zahtjeva različite mehanizme koji su primjereni topologiji i tehnologiji mreže.

U šestom poglavlju opisan je model integriranih usluga, model diferenciranih usluga i MPLS.

U sedmom poglavlju opisane su neke od osnovnih subjektivnih i objektivnih metoda za mjerenje kvalitete usluge.

U osmom poglavlju za svaku od tri vrste aplikacija definirani su određeni zahtjevi za kvalitetom usluge, kako bi usluga bila pogodna za korisnika.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak ovog završnog rada je analizirati potrebe korisnika i aplikacija za standardiziranom razinom kvalitete usluga u IP mreži, kao i mehanizme arhitekture za ostvarivanje kvalitete usluge u IP mreži. Potrebno je definirati neophodna mjerenja za provjeru i praćenje parametara kvalitete. Također, u testnom okruženju potrebno je ispitati i mjeriti parametre kvalitete za tipične mrežne aplikacije te napraviti usporedbu mogućnosti i rezultata mjerenja.

2. ZNAČAJKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA

Višeuslužne mreže (MSN- Muli Service Network) su telekomunikacijske mreže koje pružaju više od jedne vrste usluga putem iste prijenosne infrastrukture, neovisno o prijenosnom mediju. To je u suprotnosti s klasičnim mrežama ili mrežama predviđenim samo za jednu vrstu usluge. Najpoznatija takva mreža je telefonska mreža (PSTN-Public Switched Telephone Network) koja može prenositi samo jednu vrstu usluge, govor. Iako internetski promet može biti prenošen telefonskim sustavima, ti sustavi se ne smatraju višeuslužnom mrežom, jer nisu dizajnirani s tim ciljem. Glavni cilj višeuslužnih mreža je prijenos informacija na daljinu, bilo da se radilo o govoru, podatku ili videu. [1]

2.1. Koncept višeuslužnih mreža

Višeuslužne mreže su mreže koje pružaju mogućnost prijenosa više vrsta usluga preko iste fizičke infrastrukture. Osim toga, u sebi sadrže ugrađene mehanizme koji osiguravaju zahtijevanu kvalitetu usluge. S razvojem telekomunikacija, povećavala se i količina prometa koja se razmjenjivala između korisnika. U novije vrijeme informacije se u telekomunikacijskim mrežama prenose i u drugim oblicima osim govornih. Takav način u kojem je svaka vrsta usluge imala svoju vlastitu infrastrukturu za prijenos podataka za posljedicu je imao velike troškove kao i probleme upravljanja za svaku od tih mreža zasebno. Svaka od tih mreža bila je namijenjena prijenosu jedne vrste usluge te je zbog toga imala male mogućnosti modifikacije za istodobni prijenos drugih vrsta. Preinake takvih mreža zahtijevale su teško izvedive prilagodbe te se morao odrediti novi način razmjene informacije putem zajedničke infrastrukture.

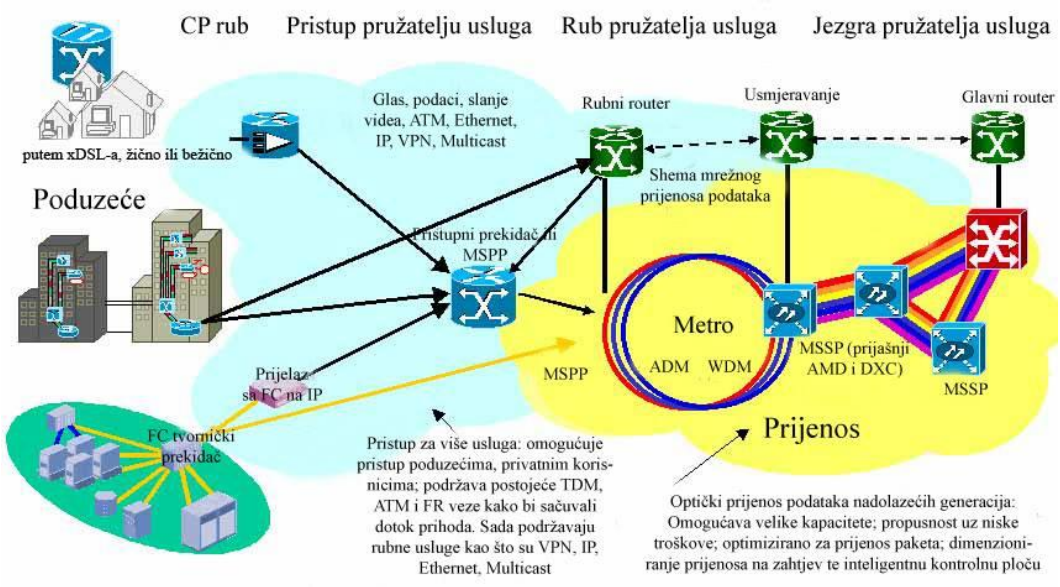
2.1.1. Razvoj i arhitektura višeuslužnih mreža

ATM (Asynchronous Transfer Mode) forum i ITU-T su početkom 80-tih godina prošlog stoljeća donijeli niz preporuka s ciljem poboljšanja telekomunikacijske mreže te uklanjaju nedostataka. Rješenja su se temeljila na optici, a nova mreža je nazvana ISDN (Integrated Services Digital Network). Nova mreža trebala je donijeti mogućnosti interoperabilnosti više simultanih usluga poput digitalnog prijenosa govora u klasičnoj telefonskoj mreži PSTN-u,

osim toga zbog novog načina rada mreže potrebno je bilo donijeti i nove ATM standarde za komutaciju, transmisiju i multipleksiranje.

Nakon donošenja navedenih standarda krenulo se s implementacijom ATM jezgrene mreže na kojoj je bio moguć prijenos govornih usluga i prijenos podataka. Od samih početaka mreža je bila zamišljena kao višeuslužna te je trebala omogućiti prijenos multimedijalnih sadržaja. Dizajnirana je za simultani prijenos glasa i videa pomoću komutacije kanala te sinkronizirani prijenos podataka. ATM nije bio zamišljen za prijenos IP (Internet Protocol) datagrama iako je u sebi imao ugrađene QoS mehanizme. S vremenom se uspješno implementirao transport IP prometa te se pomoću toga omogućio razvoj LAN (Local Area Network) mreža. Daljnjim razvojem ATM komutacija se sve više zamjenjivala Ethernet-om i proizvodima koji su se temeljili na IP-u ponajviše zbog njihove cijene i održavanja ali i prevelikog zaglavlja ATM ćelija. [1]

U početku telekomunikacijskih mreža arhitektura se isključivo temeljila na fizičkoj, odnosno električnoj razini mrežne usluge. Drugačije je bilo samo u nekim trenucima kao što je uspostavljanje i raskidanje veze u klasičnoj telefonskoj mreži PSTN-u. Kako je bilo nužno proizvesti drugačiji pristup telekomunikacijskim mrežama koje bi zadovoljile kriterije novijih mreža, s razvojem višeuslužnih mreža koje su se temeljile na komutaciji paketa, razvijala se i drugačija tehnologija. Prikaz tog pristupa vidljiv je na slici 2.1. koja prikazuje arhitekturu mreže nove generacije. Novi pristup je zahtijevao cjelovito tretiranje komunikacije između terminala tako da se integralno tretiraju transmisijski i aplikacijski orijentirane funkcije. [2]



Slika 2.1. Arhitektura višeuslužnih mreža, [2]

Razvoj nove arhitekture započeo je sedamdesetih godina prošlog stoljeća jer je prilikom povezivanja različite računalne opreme, u kojoj je bio instaliran nekompatibilan software došlo do potrebe za drugačijom odnosno slojevitom arhitekturom, jer je povezivanje zahtijevalo složene prilagodbe. 1977. godine ISO (International Organization for Standardization) je pokrenula razvoj referentnog modela za povezivanje otvorenih sustava kojeg su nazvali OSI (Open Systems Interconnection) model. S obzirom da je OSI-RM bio „apstraktni“ model, razvijena je i svojevrsna dopuna odnosno skup protokola TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) koji je podržan širokom primjenom. [3]

2.1.2. OSI model

OSI referentni model predstavljen je 1984. godine. On je koncepcija slojevitog strukturiranja gdje se komunikacijski sustav promatra u okruženjima i razlaže na određeni broj slojeva od kojih svaki obavlja funkciju za koju je zadužen. Ovaj model pružio je proizvođačima skup standarda koji osiguravaju veću kompatibilnost i međufunkcionalnost između različitih mrežnih tehnologija koje su stvorene od velikog broja kompanija diljem svijeta. OSI referentni model je primarni model koji se koristi kao smjernica za mrežne komunikacije, on definira radnje koje se zbivaju na različitim slojevima mreže te je okosnica koja olakšava razumijevanje kako informacija putuje kroz mrežu. Model se sastoji od sedam slojeva od kojih su „niži“ slojevi orijentirani na mrežne funkcije, a „viši“ slojevi na aplikacijski orijentirane funkcije. Svaki od tih sedam slojeva obavlja definiranu funkciju u kontekstu ukupne komunikacije gdje se rad obavlja prema definiranim protokolima razmjenom poruka koji u sebi sadrže korisničke podatke i upravljačke informacije između odgovarajućih slojeva udaljenih terminala. [4]

Slojevi OSI modela su:

1. Fizički sloj
2. Podatkovni sloj
3. Mrežni sloj
4. Transportni sloj
5. Sloj sesije
6. Prezentacijski sloj
7. Aplikacijski sloj.

Svaki od navedenih slojeva ima definirano sučelje prema sloju koji je neposredno iznad i ispod njega te mogu komunicirati samo s tim slojevima. S takvim ustrojavanjem protokoli određenog sloja su neovisni od ostalih slojeva. Mrežno orijentirani slojevi (fizički, podatkovni i mrežni) brinu o prijenosu podataka kroz telekomunikacijsku mrežu pomoću koje se povezuju dva sustava. Transportni sloj služi kao među sloj između nižih i viših slojeva. Zadnja tri sloja su aplikacijsko ovisni i sadrže protokole koji omogućavaju interakciju aplikacijskih procesa krajnjih korisnika. Na slici 2.2. vidljiv je prikaz OSI modela, kao i način komunikacije s drugim sustavom.



Slika 2.2. OSI model, [5]

Fizički sloj definira električne, mehaničke, proceduralne i funkcionalne specifikacije za aktivaciju, održavanje i deaktivaciju fizičkog linka (poveznica) između krajnjih sustava. Ovaj sloj se bitno razlikuje od ostalih u tome što ispod njega nema sloja koji bi mu davao uslugu nego postoji samo pasivno okruženje.

Podatkovni sloj omogućava pouzdan tranzit podataka preko fizičkog linka (poveznice).Osim toga, ovaj sloj se bavi pitanjima fizičkog adresiranja, mrežne topologije i mrežnog pristupa te se na njemu obavlja kontrola greške, odnosno osiguravanje detekcije i korekcije greške te se provjerava integritet na odredištu prispjelog paketa.

Mrežni sloj je vrlo kompleksan sloj koji omogućava povezivost i odabir puta između dva mrežna sustava koji mogu biti geografski dislocirani. Također, mrežni sloj je zadužen i za logičko adresiranje, odnosno prevođenje logičkih adresa (IP adresa) u fizičke MAC (Media Access Control) adrese. Ukoliko je to potrebno, mrežni sloj ima i mogućnosti segmentiranja IP

paketa u manje segmente ako to zahtjeva raspoloživi kapacitet mreže. Primjer protokola mrežnog sloja su: IP (Internet Protocol), IPX (Internetwork Packet Exchange) i AppleTalk.

Transportni sloj segmentira podatke koji dolaze od strane pošiljatelja i ponovno ih spaja u cjeloviti tok podataka na strani primatelja. Granica između transportnog sloja i sloja sesije mogla bi se predočiti kao i razlika između aplikacijskih protokola i protokola za prijenos podataka. Transportni sloj pokušava osigurati uslugu prijenosa podataka koja štiti gornje slojeve od detalja implementacije samog prijenosa podataka. Pružajući komunikacijske usluge, transportni sloj ostvaruje, održava i pravilno prekida virtualne krugove. Kako bi se ostvarila pouzdana usluga koristi se detekcija grešaka prilikom prijenosa, otklanjanje tih grešaka te kontrola toka informacija. Primjeri protokola prijenosnog sloja su: TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol) i SPX.

Sloj sesije omogućava uspostavljanje, upravljanje i prekidanje veze između dva računala koja međusobno komuniciraju. Također, njegova dodatna zadaća je sinkronizacija dijaloga između prezentacijskih slojeva dvaju računala i upravljanje razmjenom podataka između njih. Osim što upravlja kontrolom veze, sloj sesije osigurava efikasni transfer podataka, kvalitetu usluge i obavještava o problemima unutar sloja sesije, prezentacijskog sloja i aplikacijskog sloja. Primjeri protokola unutar sloja sesije su: NFS (Network File System), SQL (Structured Query Language), X-Window sustav, ASP (AppleTalk sjednički protokol).

Prezentacijski sloj se brine se o tome da informacija koju pošalje aplikacijski sloj jednog sustava bude čitljiva od strane aplikacijskog sloja drugog sustava. Prezentacijski sloj definira način formatiranja podataka prilikom njihove razmjene između računala na mreži, odgovoran je za sve konverzije, bilo to podataka, skupa karaktera ili protokola te kriptografsku zaštitu.

Aplikacijski sloj omogućuje aplikacijama pristup mrežnim uslugama i upućuje zahtjeve za prezentacijski sloj, [4]. Ovaj sloj najbliži je krajnjem korisniku. On dostavlja mrežne servise/usluge aplikacijama krajnjeg korisnika, ali ne dostavlja usluge ni jednom drugom OSI sloju. Aplikacijski sloj uspostavlja dostupnost između komunikacijskih partnera i sinkronizira i uspostavlja dogovore o procedurama oporavka u slučaju greški i kontrolira integritet podataka.

Svaki sloj se promatra u odnosu na sloj iznad i sloj ispod njega. Svaki sloj u modelu može komunicirati samo sa susjednim slojem, a komunikacija s ostalim slojevima se obavlja preko posredničkih slojeva. OSI model opisuje način na koji informacija putuje od aplikacije na jednom računalu do aplikacije na drugome računalu koji su međusobno umreženi. Prilikom

svakoga prelaska informacije na niži nivo, ona mijenja format na način da se podacima višeg sloja dodaje zaglavlje sloja kroz koji podaci prolaze i takav postupak se naziva enkapsulacija.

Aplikacijski sloj, sloj prikaza i sesije kreiraju podatke ovisno o korisničkom unosu. Postupak enkapsulacije počinje u transportnom sloju, transportni sloj konvertira podatak u segment tako da dodaje zaglavlje koje sadrži brojeve portova izvora i odredišta. Mrežni sloj konvertira segment u paket (datagram) tako da dodaje zaglavlje koje sadrži IP adresu izvora i odredišta. Sloj veze konvertira paket u okvir tako da dodaje zaglavlje koje sadrži MAC adresu i FCS (Frame Check Sequence – služi za potvrdu integriteta podataka). Fizički sloj konvertira okvir u bit i prenosi ga kroz fizički medij (npr. UTP kabel).

OSI model pruža važne smjernice u razvoju mrežnih protokola. Mrežni komunikacijski protokol se može opisati kao skup pravila koji su potrebni da bi se podaci mogli prenijeti preko komunikacijskog kanala. Brži razvoj protokola za određeni sloj omogućen je podjelom na slojeve. Osim OSI modela postoje i modeli koji služe kao orijentacija u razvoju mrežnih protokola. Veliki broj protokola izgrađen je prema TCP/IP modelu. [6]

2.1.3. TCP/IP model

TCP / IP model postavljen je od DoD (Department of Defense) - državne agencija u SAD-u zadužene za nacionalnu obranu. TCP/IP model dobio je naziv po svoja dva najvažnija protokola, odnosno TCP i IP protokolima. Ovaj model slijedi načelo slojevitosti, slično kao i OSI model, no razlikuje se po broju i ulozi pojedinih slojeva. TCP/IP model čini pet slojeva: fizički, sloj veze, mrežni, transportni i aplikacijski.

TCP (Transmission Control Protocol) je dominantan, spojni, prijenosni protokol interneta, garantira pouzdanu isporuku podataka od izvorišta do odredišta u kontroliranom redoslijedu. Ovaj protokol je konekcijski orijentiran, što znači da uspostavlja logičku vezu između aplikacija prije slanja podataka. TCP pruža i mogućnost višestrukih istovremenih konekcija prema jednoj aplikaciji na jednom domaćinu od strane više klijenata, gdje su najčešći primjeri za to web ili poslužitelji e-pošte. Glavna odlika ovoga protokola je velika vjerojatnost dostave paketa na odredište jer ne tolerira gubitak paketa zbog svojih zaštitnih mehanizama koji su implementirani u mrežu. Kada paket stigne na odredište, izvorištu se šalje poruka koja potvrđuje isporuku paketa. Ukoliko se u određenom vremenskom periodu ta poruka ne primi paket se ponovno šalje. Osim ovoga protokola, za prijenos paketa kroz mrežu se koristi i UDP

(User Datagram Protocol) protokol koji je bezkonekcijski orijentiran te ima veću vjerojatnost gubitka paketa jer nema zaštitne mehanizme. UDP omogućuje slanje kratkih poruka između aplikacija na umreženim računalima. Budući da UDP ne čuva informaciju o stanju veze, nema mogućnost provjere primitka poruke. Iz toga razloga se koristi kada je bitnija brzina i efikasnost od pouzdanosti.

IP (Internet Protocol) je mrežni protokol za prijenos podataka kojeg koriste izvorišna i odredišna računala za uspostavu podatkovne komunikacije preko računalne mreže. Podatci u IP mreži se šalju u blokovima koji se nazivaju paketi ili datagrami. Specifično je da se prilikom slanja paketa između izvorišta i odredišta unaprijed ne određuje točan put preko mreže kojim će podaci prijeći. Glavna zadaća IP protokola je adresiranje i usmjeravanje datagrama koji se prenose mrežom. IP protokol osigurava relativno nepouzdanu uslugu prijenosa podataka na modelu usluge koji se često naziva najboljom mogućom (ili u engleskom originalu best effort), što znači da nema gotovo nikakve garancije da će poslani paket ili datagram zaista i doći do odredišta nakon što je poslan. Sam paket se u procesu prijenosa može promijeniti, može se promijeniti redoslijed paketa u odnosu na onaj redoslijed kojim su poslani s izvorišta, može se duplicirati ili potpuno izgubiti tijekom prijenosa. Osim toga, IP protokol ima mogućnost fragmentiranja podataka, kao i prijavu greške ako do nje dođe. [7]

3. MREŽNE USLUGE

Internet je javno dostupna globalna paketna podatkovna mreža koja zajedno povezuje računala i računalne mreže korištenjem istoimenog protokola (internetski protokol = IP). To je "mreža svih mreža" koja se sastoji od milijuna kućnih, akademskih, poslovnih i vladinih mreža koje međusobno razmjenjuju informacije i usluge. Internet donosi razne mogućnosti korisnicima te omogućuje razne načine komunikacije. Priča o stvaranju i razvoju interneta počinje šezdesetih godina 20. stoljeća stvaranjem računalne mreže ARPANET. Nastao je kao spoj visoke znanosti i vojnih istraživanja kao produkt vojnih potreba. Nakon toga glavni cilj je bio stvaranje mreže koja se sastojala od više sličnih mreža. Današnji izgled interneta temelji se na tradiciji masovnog umrežavanja. Internet je u početku bio namijenjen samo za slanje poruka između računala, dok su drugi načini komunikacije omogućeni nakon implementacije TCP/IP protokola u većinu računala. U daljnjem razvoju Interneta glavni korak je pojava World Wide Web-a. World Wide web je grafički hipertekstualni način korištenja Interneta koji koristi HTTP protokol za prenošenje www stranica i drugih podataka preko Interneta. To je distribuirani, multimedijski, mrežni informacijski servis koji omogućuje pohranjivanje i pretraživanje informacija, te integrira tekst, sliku, zvučni i video zapis. [8]

Danas Internet promatramo kao višeuslužnu mrežu. Dizajniran je tako da prenosi promet više od jedne vrste aplikacija, što ga razlikuje od klasičnih mreža koje su dizajnirane samo za prijenos jedne usluge, kao npr. telefonska mreža. U višeuslužnim mrežama promet se dijeli na podatkovne usluge, govorne usluge i video usluge.

3.1. Podatkovne usluge

Podatkovne usluge predstavljaju klasične internetske usluge kao što je elektronička pošta, prijenos podataka te pretraživanje raznih informacija. Prvotno su razvijene aplikacije za prijenos podataka te elektroničku poštu jer su u samom početku usluge bile fokusirane na prednosti umrežavanja računala koje su služile za razmjenu poruka.

Prijenos podataka omogućuje korisnicima razmjenu datoteka, njihovo pohranjivanje, pregledavanje te prenošenje ovisno o potrebama korisnika. Za prijenos datoteka osmišljen je i protokol FTP (File Transfer Protocol) koji se nalazi u aplikacijskom sloju TCP/IP modela.

Elektronička pošta servis je koji omogućuje elektronično stvaranje poruka, njihovo slanje kroz mrežu i čitanje. Osim što korisniku omogućava slanje tekstualnih poruka, korisnik ima i mogućnost slanja slika ili nekog dokumenta.

Usluga pretraživanja informacija ili WWW najčešći je oblik brzog informiranja o bilo kojoj temi danas. Ona omogućuje korisniku pretragu različitih informacija i podataka u obliku teksta, videa i slike. Svi podaci se nalaze pohranjeni na mreži, a prednost je što im se može pristupiti u svakom trenutku i od više korisnika istovremeno. Osim što korisnik može pretraživati informacije, ima i mogućnosti objavljivanja istih.

3.2. Glasovne usluge

Za glasovne usluge najviše se koristi javna telefonska mreža PSTN, zasnivana na komutacija kanala. Tehnologija koja omogućava prijenos govora razvijala se s razvojem višeuslužnih mreža. Takva tehnologija naziva se VoIP (Voice over Internet Protocol), odnosno IP telefonija i temelji se na komutaciji paketa. IP telefonija koristi Internet Protocol za prijenos govora pomoću paketa preko IP mreže te je moguća na svim mrežama koje prenose podatke pomoću komutacije pakete i koje koriste taj protokol. Najbolji primjer takve mreže je Internet. Također, prijenos govora moguć je i preko interneta i LAN-a. Za vrijeme prijenosa govora kod komutacije kanala zauzima se jedan cijeli kanal, odnosno čitav kapacitet tog kanala. Za vrijeme tišine, kada se ne prenose informacije kapacitet kanala je neiskorišten jer se njime ne mogu prenositi druge informacije osim razgovora između dva korisnika, na taj način dodatno se smanjuje iskorištenost kapaciteta. U IP telefoniji, trenutci tišine odnosno slušanja ili stanki između riječi se ne prenose te se zbog toga značajno dobiva na kapacitetu kanala po kojemu putuju i druge informacije osim između dva sugovornika koji pričaju.

VoIP je onaj dio IP telefonije koji putem Interneta prenosi glas od pozivatelja do slušatelja. IP telefonija ne znači nužno samo prijenos glasa putem Interneta nego ima i veće mogućnosti, odnosno prijenos i slike i glasa istovremeno preko IP komunikacijskih kanala. Može se zaključiti da je VoIP tehnologija budućnosti jer ostvaruje sve tehničke preduvjete za razvijanje novih rješenja, pogotovo poslovnih jer daje velike financijske uštede.

Prijenos govora u IP telefoniji započinje digitalizacijom govora u IP telefonima ili govornim pristupnicima, na granici PSTN i IP mreže. Nakon toga govor se komprimira te se zatim upakira u IP pakete koji se prenose dalje preko IP mreže zajedno sa ostalim IP prometom.

U algoritmima kodiranja postoje načini za prepoznavanje kada se ne prenose informacije. Kada razina jačine govora padne ispod određene granice prepoznaju se trenuci tišine, ne prenose se informacije te se ne zauzimaju kapaciteti prijenosnih puteva. [9]

3.3. Video usluge

Video usluge su usluge koje služe za prijenos pokretnih slika i zvuka. Postoji više vrsta video usluga koje se razlikuju po parametrima koji moraju biti zadovoljeni kako bi se ostvario kvalitetan prijenos, te kako bi zadovoljio korisnika. S obzirom na navedene uvjete video usluge se mogu podijeliti na:

Kao i podatkovne usluge, postoji više vrsta video usluga koji se razlikuju ponajviše o parametrima koji moraju biti zadovoljeni kako bi se ostvario kvalitetan prijenos te da bi video bio u prihvatljivim parametrima koji bi zadovoljili korisnika. S obzirom na navedene uvjete video usluge se mogu podijeliti na:

- Video na zahtjev (VoD-Video on Demand)
- Prijenos videa strujanjem (video streaming)
- Videotelefonija i videokonferencija.

Video na zahtjev (eng. Video on demand ili skraćeno VOD) je sistem koji dozvoljava korisnicima da izaberu te slušaju ili gledaju multimedijske sadržaje (poput filmova, emisijâ i slično) kad god to oni žele umjesto da gledaju ili slušaju u određeno vrijeme kad se emitira na televiziji, radiju ili ostalim načinima za dobavljanje multimedijskih sadržaja. [10]

Prijenos videa strujanjem je preuzimanje nekog video sadržaja s mreže te njegovo izravno prikazivanje. Sadržaj koji korisnik želi gledati stiže na njegovo računalo ili neki drugi terminalni uređaj te se odmah i prikazuje. Ovakav oblik video usluge najviše se koristi kod izravnog prijenosa događaja koji se upravo odvijaju

Videotelefonija i videokonferencija su telekomunikacijski sustav koji uz prijenos govora omogućava istodobno i prijenos pokretnih slika. Razlika između videotelefonije i videokonferencije je u broju korisnika koji se u nekom trenutku koriste s takvom uslugom. Kod videotelefonije se radi o dvije osobe koje međusobno komuniciraju, dok kod videokonferencije može komunicirati već broj osoba.

Uz govorne i podatkovne usluge, video usluge također doživljavaju svoj rast i razvoj. Zbog velikog rasta i dostupnosti Internet usluga, industrija video sadržaja prolazi kroz velike transformacije. Također, video industrija raste paralelno s potrebama korisnika. Internet priključci na TV uređajima omogućavaju pružateljima usluga isporuku TV sadržaja i sličnih usluga preko IP protokola.

4. KVALITETA USLUGE U IP MREŽAMA

U prošlosti, svaka od usluga je koristila zasebnu infrastrukturu. Razvojem višeuslužnih mreža omogućio se prijenos multimedijskih, govornih, podatkovnih i video usluga preko samo jedne fizičke infrastrukture. Pred današnje se telekomunikacije postavljaju zahtjevi za zadovoljavanje kvalitete usluge QoS (Quality of Service). U doba analogne telefonije, QoS je označavao vjerojatnost dostupnosti puta u telekomunikacijskoj mreži. Danas, nakon napretka tehnologije, Međunarodna unija za telekomunikacije ITU je definirala QoS u preporuci ITU-T E.800 kao: „ukupan efekt performansi određene usluge koja se određuje zadovoljstvom krajnjeg korisnika“. [11]

U današnjem svijetu, višeuslužne mreže predstavljaju jedna od najzastupljenijih načina komunikacije u privatnom životu. Budući da višeuslužne mreže prenose mnoštvo aplikacija, razne podatke te video visoke kvalitete treba osigurati zadovoljavajuću kvalitetu. Dakle, QoS tehnologija se odnosi na skup tehnika i alata za upravljanje mrežnim resursima, a njezin cilj je da se svi podaci dostave korisniku uz zadovoljavajuću kvalitetu bez kašnjenja. Različite usluge tretiraju se na različite načine. QoS je on osnovni element za uspješan razvoj višeuslužnih mreža. [12]

4.1. SLA (Service Level Agreement)

Ugovor o razini usluge (SLA – Service Level Agreement) je alat kojim se stvara međusobno razumijevanje o uslugama i isporuci usluga između davatelja usluga i njihovih korisnika. Njime se određuju očekivanja, razjašnjavaju odgovornosti i stvara objektivna osnova za procjenu učinka usluge.

SLA je proces i proizvod. U smislu procesa, on je formalno dogovoreno sredstvo pomoću kojega dvije ili više strana unapređuju komunikaciju, grade dugoročne odnose i određuju očekivanja uslugama, razinama usluge i kvaliteti usluge, odgovornostima svake strane te koracima koje poduzimaju sve strane kako bi osigurale uspješne odnose. U smislu proizvoda, on je dokument između davatelja usluga i njegovih unutarnjih ili vanjskih korisnika ili između bilo koje dvije ili više strana koje moraju međusobno djelovati kako bi izvršile zadatak i postigle zajednički cilj. [13]

Uvođenjem SLA standardizira se razina usluga, evidentira i dokumentira se razina usluga, uspostavljaju se mehanizmi mjerenja razine usluga na obje strane, stvaraju se temelji za unapređenje razine usluga, uspostavlja se odgovornost u poslovnom procesu, omogućava se lakše planiranje i osiguranje sredstava za resurse, omogućava se veća mobilnost svih sudionika poslovnog procesa, optimizira se funkcioniranje poslovnog procesa, postiže se bolje upravljanje i korištenje kapitalnih resursa, poboljšava se razumijevanje davatelja za korisnikove potrebe i prioritete, postiže se veća konkurencijska prednost pred onim davateljima koji ne koriste ugovore.

4.2.Parametri QoS-a

Budući da različite usluge zahtijevaju različite mrežne kapacitete i različitu kvalitetu, svaka usluga ima različite iznose izgubljenih paketa, širinu prijenosnog pojasa, kašnjenje i varijacije kašnjenja.

Navedeni parametri se mogu nazivati mrežnim QoS parametrima ili uslužno specifični QoS parametri jer su vezani za specifičnu uslugu. Također, s obzirom da se radi o parametrima koji direktno utječu na zadovoljstvo korisnika i koji predstavljaju tehničku interpretaciju njegovih zahtjeva za kvalitetom, mogu se svrstati i u ključne QoE pokazatelje pri čemu se uzimaju njihove prosječne vrijednosti.

4.2.1. Propusnost

Propusnost (eng.bandwidth) predstavlja maksimalnu brzinu prijenosa koja se može postići između dva kraja mreže (end-to-end) i obično se mjeri bitovima po sekundi (bps). Ako usporedimo komunikacijski kanal sa međuprocesnim kanalom, propusnost predstavlja opseg međupropusnog kanala i određuje koliko podataka može proći kroz međupropusni kanal u bilo kojem trenutku. Neodgovarajuća propusnost izaziva povećanje kašnjenja paketa jer paketi provode više vremena u redovima čekanja (međuspremnicima) mrežnih uređaja. U jako zagušenim mrežama neodgovarajuća propusnost dovodi do gubitka paketa jer se međuspremnici pretrpavaju i dolazi do odbacivanja paketa. Kako bi se ispunili QoS zahtjevi, ključno je da komunikacijski kanali imaju dovoljnu propusnost koja je određena načinom implementacije fizičkog i logičkog sloja i logičkom organizacijom konekcija unutar mreže.

Propusnost zavisi ne samo od kapaciteta kanala, već i od broja tokova podataka koji dijele zajedničku infrastrukturu između dvije krajnje točke mreže. Zbog ovoga je opseg promjenjiva veličina, karakteristična za svaku pojedinačnu konekciju u mreži. [14] Opseg jednog toka podataka se može mjeriti na dva načina:

Opseg u terminu uspješno prenesenih paketa - jednak je odnosu ukupnog broja uspješno prenesenih paketa u promatranom vremenu i trajanja tog vremena Δt:

$$\boldsymbol{B_{pak}} = \frac{\boldsymbol{N_{uspješnih\ paketa}}}{\Delta t} \qquad (1)$$

Opseg u terminu prenesenih bajta - jednak je ukupnom broju okteta koji su uspješno preneseni u promatranom vremenskom intervalu Δt:

$$\boldsymbol{B_{okt}} = \frac{\boldsymbol{N_{uspješnih\ paketa}}}{\boldsymbol{\Delta t}} \qquad (2)$$

4.2.2. Kašnjenje

Kašnjenje (eng. latency, delay) se očituje na više načina, uključujući vrijeme potrebno za uspostavu određene usluge od trenutka slanja zahtjeva korisnika te vrijeme potrebno za prijem specifičnih informacija nakon što je usluga uspostavljena. Kašnjenje možemo definirati kao vrijeme koje je potrebno paketu da dođe od izvorišta do odredišta [15]. Kašnjenje ovisi o:

- Vremenu propagacije signala kroz medij te o vrsti medija. Na ovu komponentu kašnjenja se može utjecati na fizičkoj ili logičkoj razini odabirom redundantnog kanala.
- Vremenu procesiranja paketa na čvorovima mreže, odnosno o potrebnom vremenu za razmjenu paketa između međuspremnika, obradu adresnih polja, ažuriranje paketa u sekvencu na prijemniku, itd.
- Vremenu čekanja paketa u redovima koje ovisi od usvojene strategije posluživanja redova na usmjerivaču, načinu upravljanja redovima i trenutnom prometnom opterećenju [16].

Postoje dvije vrste kašnjenja:

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

4.2.3. Varijacije kašnjenja

Varijacije kašnjenja (eng. jitter) su razlike u vremenima kašnjenja paketa koji pripadaju istom toku. U matematičkom smislu, varijacije kašnjenja su mjera apsolutne vrijednosti prvog izvoda sekvence pojedinačnih izmjerenih kašnjenja. Varijacije nastaju zbog različitih faktora kao što su vremena obrade paketa ili različita dužina redova čekanja. Zbog velikog značaja na prijenosnom sloju kod paketnih sustava prijenosa, varijaciju kašnjenja možemo svrstati među parametre performansi. Aplikacije koje su osjetljive na varijaciju kašnjenja poduzimaju različite korake kako bi otklonile ili smanjile varijacije kašnjenja. Kao posljedica varijacije povećava se kapacitet međuspremnika u prijemniku kako bi se zadržali pristigli paketi i sačekali oni koji imaju veće kašnjenje. [17]

4.2.4. Gubici

Gubitak paketa se odnosi na postotak paketa koji ne stignu na odredište. Nastaje zbog grešaka u mreži, oštećenih paketa ili najčešće zbog zagušenja u mreži. Često se umjesto gubitaka koristi i parametar pouzdanosti, koji je obrnuto proporcionalan količini gubitaka u promatranom vremenskom periodu. Ukoliko u mreži postoji zagušenje u prometu, pojedini segmenti poruke se odbacuju zbog preopterećenja međuspremnika ili zbog prekoračenja vrijednosti graničnog kašnjenja. Također, do gubitka može doći i pri prijenosu u transmisijskim sustavima ili zbog pogrešnog usmjeravanja paketa. Informacija se može izgubiti zbog degradacije uslijed korištenja različitih vrsta kodiranja sadržaja u cilju efikasnije transmisije. Prema RFC2680, gubitci na nižim slojevima su posljedice smetnji u kanalu i izražavaju se sa BER (Bit Error Rate). [18]

$$\text{BER} = \frac{\text{broj pogrešno prenesenih bita u promatranom vremenu}}{\boldsymbol{ukupan\ broj\ prenesenih\ bita\ u\ promatranom\ vremenu}} \quad (3)$$

Učestalost grešaka (eng. error rate) možemo promatrati kao učestalost pogrešno primljenih bitova, elemenata, karaktera ili blokova u odnosu na njihov ukupni broj u određenom vremenskom intervalu. BER možemo promatrati kao transmisijski i informacijski BER. Transmisijski BER predstavlja broj pogrešno primljenih bitova u odnosu na ukupni poslani broj. Informacijski BER predstavlja broj dekodiranih bitova u odnosu na ukupan broj dekodiranih bitova. BER je dobar parametar samo za prva dva sloja mreže dok se na višim slojevima greške prate na paketima kao fundamentalnim jedinicama, pa postoje razlike u odabiru parametara. Gubitak informacije ima veliki učinak na kvalitetu informacije koja se na kraju prezentira korisniku. Kako bi se osigurala zadovoljavajuća kvaliteta, bitno je osigurati male gubitke, ali je potrebno razmatrati i periode gubitaka. Vrijeme gubitaka je parametar koji često pomaže u određivanju uzroka gubitaka. Kod mreža s visokom raspoloživošću dozvoljen je manje od 1% gubitaka. Kompenzacija paketnih gubitaka moguća je korištenjem proaktivnih ili direktnih rješenja (redundantno kodiranje) ili indirektno, preko mehanizama kontrole zagušenja na mrežnom i transportnom nivou.

4.3. Iskustvena kvaliteta usluge – QoE

Iskustvena kvaliteta usluge relativno je novi koncept koji se bavi mjerenjem korisničkog zadovoljstva korištenjem određene usluge ili proizvoda. Javlja se u području telekomunikacija. To je korisnički usmjeren koncept u multidisciplinarnom području koji pokušava shvatiti korisničku percepciju kvalitete usluge kako bi se povećalo zadovoljstvo korisnika uslugom. Većina predloženih modela iskustvene kvalitete temelje se na određenom broju faktora koji utječu na percipiranu kvalitetu usluge od strane korisnika, a koji proizlaze iz sustava, konteksta korištenja usluge ili korisnika.

Nemoguće je definirati model za mjerenje iskustvene kvalitete koji bi vrijedio za sve telekomunikacijske usluge, ali mogu će je definirati pojedine modele za evaluaciju iskustvene kvalitete za različite tipove usluga.

Iskustvena kvaliteta je subjektivna mjera zadovoljstva krajnjeg korisnika korištenjem određenog proizvoda ili usluge. Koncept iskustvene kvalitete razvijen je kao nadopuna kvalitete usluge QoS. Standardizacijsko tijelo ITU-T (eng. International Telecommunication Union –

Telecommunication Standardization Sector) u preporuci E.800, [19] definira kvalitetu usluge kao "kolektivni utjecaj performansi usluge koji određuju stupanj zadovoljstva krajnjeg korisnika uslugom". Istraživanja kvalitete usluge na području telekomunikacija bila su usmjerena na ispitivanja o utjecajima objektivnih, mjerljivih mrežnih parametara i karakteristike pružane usluge kao što su način kodiranja podataka, kašnjenje, gubitak paketa. [20]

Moorsel je uveo pojam iskustvene kvalitete kao nove metrike povezane s korisničkim iskustvom i doživljajem prilikom korištenja telekomunikacijske usluge. [21] Iskustvena kvaliteta i kvaliteta usluge razliku se po subjektivnim utjecajima na korisnika.

Standardizacijsko tijelo ITU-T proširilo je preporuku E.800 [19] definirajući kvalitetu usluge kao "sveukupnost karakteristika telekomunikacijske usluge koje zadovoljavaju potrebe krajnjeg korisnika te usluge" te se obraća posebna pozornost na kvalitetu usluge percipiranu od strane korisnika (QoSP – eng. QoS Perceived). Standardizacijsko tijelo ITU-T u proširenju P.10 preporuke G.100 definira iskustvenu kvalitetu kao "sveukupnu prihvatljivost aplikacije ili usluge, subjektivno percipiranu od strane krajnjeg korisnika", a standardizacijsko tijelo ETSI definira ju kao "mjerilo uspješnosti korištenja telekomunikacijske usluge ili proizvoda temeljeno na objektivnim i subjektivnim psihološkim mjerama". [22]

Kroz COST akciju QUALINET iskustvena kvaliteta u jednoj je od zadnjih predloženih definicija istraživačke zajednice opisana kao "stupanj zadovoljstva ili iritiranosti (eng. annoyance) korisnika aplikacije ili usluge; ona proizlazi iz njegovih očekivanja obzirom na korist i/ili uživanje u aplikaciji ili usluzi kao rezultat osobnosti korisnika i trenutnog stanja". [23]

Prema navedenim definicijama može se zaključiti da je došlo do pomaka u perspektivi kvalitete usluge kao tehnički orijentiranog koncepta usmjerenog prema korisniku, koji osim dijela tehničkih performansi u obzir uzima i kontekst korištenja usluge, ali i samog korisnika, pri čemu nastaju složeni parametri iskustvene kvalitete.

4.3.1. Vrednovanje iskustvene kvalitete

Vrednovanje iskustvene kvalitete treba se temeljiti na utjecajnim faktorima koji se mogu kontrolirati i mjeriti. Za vrednovanje iskustvene kvalitete koriste se dvije metode; subjektivno

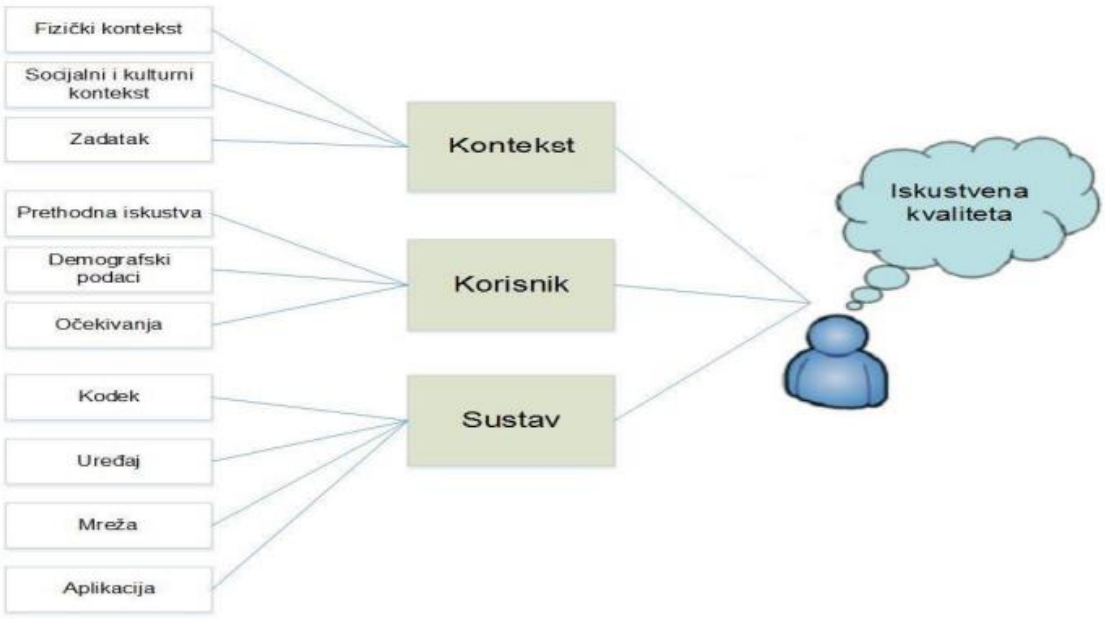
i objektivno vrednovanje. Najčešći načini provođenja subjektivnog vrednovanja su anketiranje korisnika i subjektivna ispitivanja u testnim okruženjima.

Detaljnim pregledom utjecaja parametara na iskustvenu kvalitetu korisnika omogućena je manipulacija i kontrola nad parametrima. Ukoliko se ispitivanje ponavlja, stupanj pouzdanosti dobivenih rezultata može se povećati jer provođenjem eksperimenata više puta dolazi do potvrde zaključaka ispitivanja. Ovakav način vrednovanja iskustvene kvalitete ima određene nedostatke pa su rezultati istraživanja uglavnom nepouzdani jer uvjeti stvarnog okruženja većinom ne odgovaraju uvjetima testne okoline.

Ispitivanja u kontroliranim uvjetima uglavnom su dugotrajna i skupa. Vrijeme i troškovi istraživanja, te pouzdanost podataka dobiveni su na način vrednovanja iskustvene kvalitete putem crowdsourcinga kod kojega se podrazumijeva evaluaciju usluge sa strane povećeg broja Internet korisnika, [24]. Kod subjektivnih ispitivanja najčešće se koristi MOS (eng. Mean Opinion Score), ljestvica kvantificiranja korisničkog iskustva, [25]. MOS nije najbolje rješenje za vrednovanje iskustvene kvalitete budući da korisnici u većini slučajeva imaju različite interpretacije ocjena, a ponekad se dogodi da više korisnika isto ocjeni različita iskustva.

S aspekta subjektivne iskustvene kvalitete nemoguća je kvantifikacija ocjene kvalitete usluge jer korisnici u većini slučajeva svoje (ne)zadovoljstvo uslugom izražavaju opisima kao što su dobro, loše, odlično, itd. Ponekad ni aspekt korisnika nije u stanju kvalitativno opisati zadovoljstvo korištenom uslugom. Iz tog razloga iskustvena kvaliteta se često nastoji vrednovati pomoću modela i objektivnih mjerenja. Ocjena iskustvene kvalitete koja je dobivena objektivnim mjerenjem ima pouzdanost koja ovisi o definiciji pravilnog modela za određenu uslugu. Kako bi se definirao pouzdani model vrednovanja iskustvene kvalitete potrebni su mjerljivi parametri koji utječu na iskustvenu kvalitetu korisnika i koji su vezani uz različite dijelove usluge i koji su različiti za svaku uslugu. ITU predlaže podjelu utjecajnih faktora na objektivne faktore koji se odnose na kvalitetu usluge (npr. parametri usluge i mreže) i subjektivne, tj. ljudske faktore (npr. korisnička očekivanja, emocije). [26]

Na slici 8.1. definirani su utjecajni faktori koji su podijeljeni u tri skupine: faktori sustava (sve karakteristike sustava koje utječu na iskustvenu kvalitetu korisnika), korisnički faktori (sve karakteristike korisnika koje utječu na njegovu subjektivnu ocjenu kvalitete usluge) i kontekstni faktori (trenutni faktori iz okoline i sustava prisutni za vrijeme korištenja usluge).



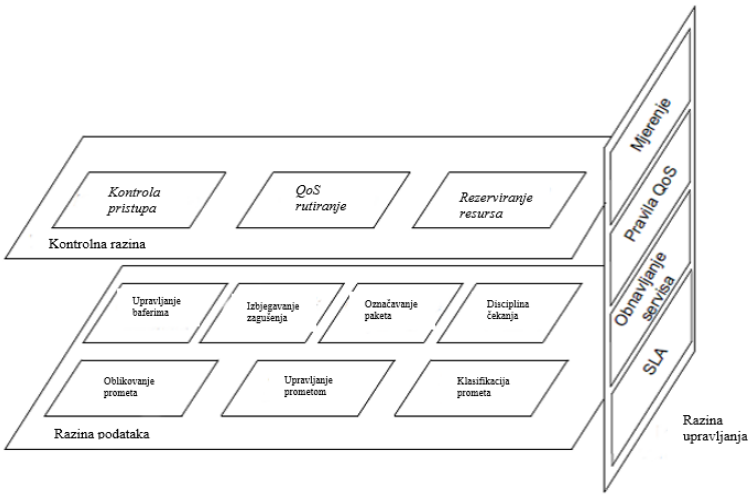
Slika 8.1. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika, [27]

5. ARHITEKTURA KVALITETE USLUGA I MEHANIZMI REALIZACIJE QOS-A

Osiguranje QoS-a je proces kojim se implementira QoS u mreži i terminalima. Ovaj proces prevodi rezultate planiranja u mehanizme i parametre razumljive mrežnim elementima i terminalima i koristi ih za njihovu buduću konfiguraciju na opremi ili komponentama. Osiguranje QoS može se klasificirati u tri kategorije: osiguranje QoS-a u pristupu, jezgri i prijenosu kojim se konfiguriraju QoS mehanizmi unutar mreže, osiguranje uslužnog QoS-a koji preslikava usluge unutar QoS profila i osiguranje terminalskih QoS koje se vrši postavljanjem uslužno specifičnih aplikacija - QoS informacija u terminale. [28]

Za osiguranje QoS-a potrebna je kontrola pristupa, izbjegavanje zagušenja, upravljanje resursima ali i odgovarajući signalizacijski protokoli (npr. SIP ili H.323), protokoli za usmjeravanje (npr. RIP, OSPF, BGP), gateway protokoli koji omogućavaju komunikaciju između fiksne i bežične mreže (npr. Media Gateway Control Protocol) te transportni protokoli (RTP, RTCP, DiffServ, RSVP).

Za uspješno osiguranje QoS-a neophodno je razumijevanje karakteristika prometa u cilju definiranja i implementacije QoS zahtjeva. Potrebno je osigurati i raspodjelu sistemskih i mrežnih resursa kao i uspostaviti odgovarajuću QoS arhitekturu sa pripadajućim mehanizmima. Navedeni koncept počiva na principu transparentnosti, separacije, integracije, različitih tokova vremena i principu performansi. Princip transparentnosti podrazumijeva da QoS mehanizmi ne trebaju biti vidljivi za aplikacije i korisnike, što bi značilo da je korisniku samo bitno da dobije kvalitetnu uslugu, ali ne i način na koji je kvalitetna usluga ostvarena. Transparentnost umanjuje potrebu za uvođenjem QoS funkcionalnosti u aplikaciju, skriva tehničke detalje o usluzi od korisnika i aplikacije, te prepušta poslove oko upravljanja kvalitetom specijaliziranim entitetima. Princip integracije znači da QoS mora imati mogućnost konfiguriranja, predviđanja i održavanja kako bi se ostvarile zahtijevane performanse s kraja na kraj. Princip separacije podrazumijeva da je nužno razlikovanje funkcija prijenosa, kontrole i upravljanja. Jedan od aspekata separacije je potreba za razlikovanjem tokova korisničkih i signalizacijskih podataka ili separacije samih korisničkih tokova prema njihovom prioritetu. Neke funkcije zahtijevaju rad u realnom vremenu, a neke ne i to je zapravo princip različitih tokova vremena. Po principu performansi nužno je utvrditi pravila po kojima će se implementirati sistemi koji podržavaju QoS koncept. [29]



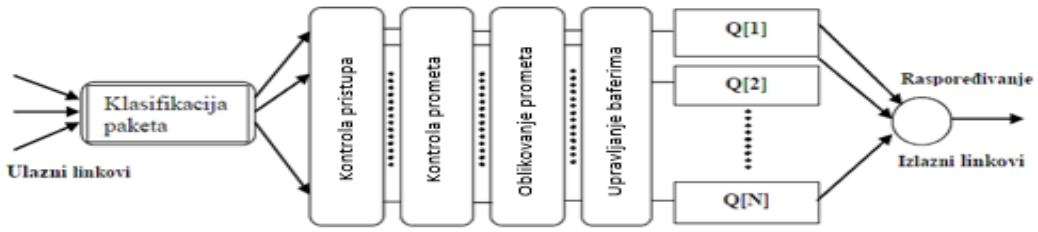
Slika 5.1. Arhitektura i mehanizmi kvaliteta usluge, [30]

Arhitektura prikazana na slici 5.1. predložena je preporukom ITU-T Y.1291. Osnovna namjera ove arhitekture je definirati generičke mrežne mehanizme koji bi kontrolirali odgovor mreže na zahtjeve za uslugom. Ovi mehanizmi mogu biti specifični za određeni element mreže, kontrolu i administraciju prometa u cijeloj mreži ili signalizaciju između određenih mrežnih elemenata. Arhitektura se sastoji od tri razine: kontrolna, podatkovna i razina upravljanja, [29].

- Kontrolna razina sadrži mehanizme koji se odnose na putanje prometa korisničkih podataka, odnosno upravljanje putevima prijenosa podataka.
- Razina upravljanja sadrži mehanizme koji se odnose na postupanje, administriranje i upravljanje aspektima prometa korisničkih podataka, tj. pravila, SLA ugovori, mjerenje i snimanje prometa.
- Podatkovna razina sadrži mehanizme koji se neposredno primjenjuju na promet korisničkih podataka.

5.1.Mehanizmi kontrolne razine

Mehanizmi kontrolne razine odgovorni su za konfiguriranje mrežnih čvorova, odnosno definiranje skupa procedura koje se koriste u čvoru sa ciljem izvršavanja odgovarajuće obrada paketa u skladu sa zahtijevanom razinom usluge



Slika 5.2. Mehanizmi za kontrolu prometa u QoS usmjerivačima, [29]

Mehanizmi kontrolne razine su kontrola pristupa (eng. admission control), rezerviranje resursa i QoS usmjeravanje. Na slici 5.2. prikazani su mehanizmi koji su implementirani u usmjerivačima sa podrškom za osiguranje QoS-a.

Kontrola pristupa određuje koji promet će se propustiti u mrežu. Hoće li ili neće određeni promet biti propušten, ovisi od usvojenog SLA. Također, odluka može ovisiti i o dostupnosti adekvatnih resursa mreže, tako da novopristigli promet svojim zahtjevima za resursima ne ugrozi performanse prometa. Davatelju usluge, cilj je omogućiti pristup novom prometu, omogućivši u isto vrijeme istu kvalitetu usluge za postojeće korisnike. Kontrola pristupa može biti parametarski ili mjerno zasnovana. Kod parametarskog pristupa, kao glavni kriterij uzimaju se najgori slučajevi parametara kvalitete usluge (propusnost, kašnjenje, varijacije kašnjenja i gubici). Kod mjerno zasnovanog pristupa, za određivanje kriterija koriste se trenutne mjerene vrijednosti parametara kvalitete usluge. [29]

Rezervacija resursa neophodna je da bi se mogao garantirati određeni QoS. Mehanizmi kontrole pristupa usko su povezani s mehanizmima rezervacije. Mehanizmi rezervacije moraju uzajamno raditi kako bi se osigurao stvarni QoS.

QoS usmjeravanje podrazumijeva izbor puta kojim će se zadovoljiti korisnički zahtjevi za kvalitetom usluge. S rastom mreže, raste i cijena usmjeravanja, a ona ovisi o izabranoj metrici i broju parametara QoS-a koji ulaze u proračun. Puno je ekonomičnije koristiti metode usmjeravanja koje u obzir uzimaju jedan parametar QoS-a (propusnost ili kašnjenje) ili koje koriste dualnu metriku (cijena-propusnost, cijena-kašnjenje, ili propusnost-kašnjenje). Postoji veliki broj strategija usmjeravanja koje su razvijene u cilju smanjenja složenosti problema. QoS usmjeravanje samo određuje vjerojatnost da izabrani put zadovoljava zahtjeve za kvalitetom usluge, tj. ne garantira da će QoS biti ostvaren. Garanciju određene razine izvođenja je moguće

ostvariti samo uz zajednički rad mehanizma QoS usmjeravanja i mehanizama rezervacije resursa. [29]

5.2.Mehanizmi razine upravljanja

Mjerenje i snimanje prometa vrši se pomoću mehanizama koji vrše nadgledanje karakteristika prometa i uspoređuju dobivene rezultate mjerenja sa vrijednostima dogovorenim u SLA. Cilj mjerenja prometa je provjeriti da li su zadovoljeni uvjeti iz SLA. Mjerenje prometa u mreži omogućava da se dobiju podaci o stanju zauzetosti mreže čime se ostvaruju preduvjeti za prometni inženjering. [29]

Pravila QoS-a predstavljaju skup propisa za administriranje, upravljanje i kontroliranje pristupa mrežnim resursima. Pružatelji usluga implementiraju pravila u mehanizme kontrolne razine i razine podataka. Neke potencijalne aplikacije su pravila usmjeravanja (usmjeravanje paketnog toka prema destinaciji), pravila filtriranja paketa (markiranje ili odbacivanje paketa prema određenim pravilima), bilježenje paketa (omogućavanje korisnicima da bilježe određene tokove paketa).

Obnavljanje prometa se definira kao reakcija mreže u uvjetima kvara (potpunog prestanka rada). Reakciju mreže je potrebno razmatrati na svim slojevima. [29]

5.3.Mehanizmi na razini podataka

Upravljanje redovima - Mehanizmi upravljanja redovima rade s paketima koji čekaju na prijenos i donose odluke o spremanju ili odbacivanju tih paketa. Vrlo važan zadatak ovih mehanizama je da minimalizacijom veličine međuspremnika, jedna konekcija ili jedan tok monopoliziraju cijeli kapacitet međuspremnika, bez smanjenja iskorištenosti opsega i izbjegavanja fenomena zagušenja. Rješenja upravljanja usmjerivačima razlikuju se ponajprije u kriterijima odbacivanja paketa i izboru paketa koji će biti odbačeni. [29]

Dostizanje punog kapaciteta usmjerivača je zajednički kriterij za odbacivanje paketa. Kada se red čekanja napuni, paketi se počinju odbacivati. Koje pakete odbaciti, ovisi od usvojene discipline odbacivanja:

- „Droptail“ odbacuje novopristigle pakete. Ovo je najraširenija strategija,
- „Front drop“ čuva novopristigle pakete na račun onih koji najduže čekaju u redu,
- „Random drop“ čuva novopristigle pakete na redu čekanja, uz odbacivanje slučajno izabranog paketa iz reda. Ovo rješenje je složenije i skuplje jer zahtijeva pretragu međuspremnika.

Kontrola toka i izbjegavanje zagušenja – Zbog ograničenih resursa, odnosno kapaciteta kanala i brzine prijemnika javlja se potreba za kontrolom toka u komunikacijskim mrežama. Kontrola toka samo je jedna od metoda kontrole zagušenja. Zadaća mehanizama za kontrolu toka je da brzinu slanja podataka predajnika prilagodi trenutno dostupnim mrežnim resursima. Do zagušenja dolazi kada količina ponuđenog prometa postane veća od kapaciteta mreže. Također, zagušenje je posljedica nedostatka resursa kao što su opseg ili kapacitet međuspremnika.

Prema trajanju, zagušenje dijelimo na trajno, periodičko, privremeno i trenutno zagušenje. Kako bi se izbjeglo permanentno zagušenje, potrebno je povećavati resurse, dok se periodičko zagušenje izbjegava politikom cijena, kontrolom pristupa i dinamičkim usmjeravanjem. Privremeno zagušenje izbjegava se upotrebom kontrole toka i kontrole pristupa. Kontrola toka osnovni je mehanizam za izbjegavanje zagušenja kod podatkovnog prometa, dok je kontrola pristupa osnovni mehanizam kod neelastičnog prometa u stvarnom vremenu. [29]

Raspoređivanje paketa - Mehanizmi raspoređivanja paketa kontroliraju izbor paketa koji se isporučuju u izlazne linkove. Dolazni promet zadržava se u redovima čekanja, koji su sastavljeni iz više redova i raspoređivača. Postoji nekoliko glavnih pristupa:

- FIFO – First In First Out queuing: paketi su smješteni u jedan red čekanja i poslužuju se onim redoslijedom kojim stižu na red.
- FQ – Fair Queuing: Paketi su raspoređeni po tokovima i dodijeljeni redovima čekanja za odgovarajuće tokove. Redovi se tada poslužuju round robin tehnikom. Prazni redovi se preskaču. Također, FQ disciplina se naziva i per-flow ili flow-based queuing.
- PQ - Priority queuing: paketi se prvo klasificiraju i pohranjuju u redove čekanja sa različitim prioritetom. Unutar svakog takvog reda paketi se poslužuju po FIFO disciplini.

- WFQ – Weighted Fair Queuing: paketi se prema tokovima dodjeljuju redovima čekanja. Svakom redu čekanja dodjeljuje se postotak izlaznog opsega, ovisno od potrebe svakog toka. Razlikovanjem paketa prema veličini, ova disciplina predstavlja dobar mehanizam za prevenciju okupiranja većine kapaciteta od strane tokova sa većim paketima.
- CBQ – Class Based Queuing: paketi se razvrstavaju u različite klase i dodjeljuju redovima čekanja koji korespondiraju tim klasama. Svakom redu se može dodijeliti određeni postotak izlaznog opsega, a izlazno posluživanje se vrši round robin disciplinom. [31]

U praksi osim navedenih tehnika posluživanja postoji veliki broj disciplina za različite vrste prometa, kao što su Stochastic Fair Queuing, Deficit Round Robin, itd.

Označavanje paketa - Paketi se označavaju sukladno specifičnoj klasi usluge koju zahtijevaju i obično se označavaju na čvoru na rubu mreže. Označavanje paketa vrši se promjenom vrijednosti nekog polja na zaglavlju paketa koje je standardizirano za različite implementacije mreža. U nekim slučajevima moguće je označiti i paket koji ima prioritet odbacivanja ako dođe do zagušenja. Osim toga, paketi se mogu promovirati ili degradirati, ovisno o rezultatima mjerenja prometa u mreži. Kriterij za označavanje paketa mora se dinamički podešavati s promjenom stanja u mreži, bilo da se radi o označavanju paketa na izvoru informacija ili na nekom čvoru u mreži. Kod dinamičke konfiguracije može se koristiti RSVP protokol.

Klasifikacija prometa – Klasifikacija prometa može se obavljati na razini toka ili paketa. Na rubu mreže, mehanizmi koji su zaduženi za klasifikaciju sadržaja provjeravaju predodređena polja na zaglavljima paketa i određuju kojem toku paket pripada, kao i odgovarajući SLA.

Upravljanje prometom – Mehanizmi upravljanja prometom određuju da li promet između dva čvora na određenom toku odgovara dogovorenoj razini usluge (SLA). Paketi koji ne pripadaju pod dogovoreni SLA obično se odbacuju.

Oblikovanje prometa – Oblikovanje prometa je kontrola brzine i količine prometa koji ulazi u mrežu. Dok se ne postignu uvjeti za slanje svih paketa, entitet zadužen za upravljanje prometom pohranjuje pakete s nižim prioritetom. Oblikovanje prometa obično se obavlja između pošiljatelja podataka i čvorova na rubu mreže

Dvije glavne metode oblikovanja prometa su:

- **leaky bucket** (cureći lijevak). Bez obzira na brzinu dolaznog prometa, LB metoda održava odlazni promet na konstantnoj brzini. Odbacuju se svi dolazni paketi koji „preliju lijevak“. Ovu metodu karakteriziraju dva parametra; veličina lijevka i izlazna brzina, Oba parametra mogu se konfigurirati od strane korisnika.
- **token bucket** (žetonski lijevak). U slučaju da žetoni nisu potrošeni, ova metoda omogućava izlaznim paketima da napuste lijevak brzinom kojom pristižu. Žetoni se generiraju fiksnom brzinom i pohranjuju u žetonski lijevak dok se on ne napuni. Žetoni se troše kako se paketi propuštaju kroz lijevak. Ova metoda za razliku od LB metoda nema strategiju odbacivanja paketa, već ostavlja mogućnost međuspremniku da odluči kako će odbaciti pakete ukoliko se žetoni potroše. Ovu metodu karakteriziraju dva parametra; veličina žetonskog lijevka i brzina generiranja žetona. Kao i u LB metodi, oba parametra mogu se konfigurirati. [31]

Obje metode mogu se zajedno koristiti. Promet se prvo može oblikovati TB metodom, a poslije se LB metodom može eliminirati neželjeni prasak.

6. IMPLEMENTACIJA MEHANIZAMA ZA OSIGURANJE QOS-A

Internet je mreža koja je prvotno dizajnirana da podrži tzv. Best Effort posluživanje. Glavne karakteristike takvog načina su da se ne pravi nikakva razlika između korisnika i usluga, također, te karakteristike važne su za elastični promet, kao što je web promet, e-mail i prijenos datoteka. Takve usluge nemaju velike zahtjeve za QoS. Osim tak takvih usluga prijenosa podataka, pojavile su se i mnogo naprednije usluge koje su osjetljivije na parametre QoS-a, kao što su videokonferencije, VoIP i video na zahtjev. Takve aplikacije imaju posebne zahtjeve koji su vezani uz parametre kvalitete (gubitak paketa, kašnjenje, kolebanje kašnjenja i širinu prijenosnog pojasa).

QoS ima vlastite mehanizme koji omogućavaju da parametri pojedinih usluga ostaju u zadovoljavajućim omjerima. Ti mehanizmi koriste različite funkcije kao što su rezervacija zahtijevanog prijenosnog pojasa, tablice usmjeravanja, identifikacije klase usluga, usmjeravanje s prioritetom itd. Dva mehanizma mogu biti upotrijebljena za osiguravanje dopuštenih ili ugovorenih vrijednosti parametara kvalitete usluge. Jedan se temelji na IntServ (Integrated Services) modelu, a drugi na DiffServ (Differentiated Services) modelu.

6.1. Model integriranih usluga (Int-Serv)

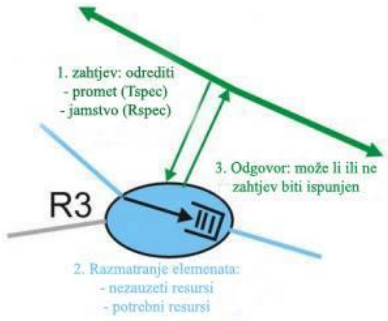
Model integriranih usluga (Int-Serv) je model za pružanje QoS na Internetu i intranetu. Int-Serv mehanizmi temeljeni su na RSVP (Resource Reservation Protocol) protokolu koji se koristi za rezervaciju resursa za pojedini tok paketa ili za višestruke tokove paketa. Kako bi se osigurali resursi, koristi se poruka pomoću koje se najavljuje zahtjev za rezervacijom resursa (path message) te poruka pomoću koje se rezervacija obavlja (resv message). Toku se dodjeljuje zahtijevani kapacitet i osiguravaju mu se vrijednosti parametara kvalitete kada mu kontrola pristupa omogući ulazak u mrežu.

Prema Int-Serv konceptu definirane su dvije klase usluga: jamčene usluge (Guaranteed Service) i usluge s kontroliranim opterećenjem (Controlled Load Service).

Jamčene usluge namijenjene su vremenski osjetljivim aplikacijama. Ove usluge definiraju najveće dopušteno kašnjenje i minimalnu propusnost na elementima mreže od jednog do drugog kraja mreže. Usluga s kontroliranim opterećenjem namijenjena je uslugama koje su

osjetljive na preopterećenje. Ove uslugu omogućuju dijeljenje zajedničkog propusnog opsega između više prometnih tokova u uvjetima velikog mrežnog opterećenja.

S ovim mehanizmom postiže se precizno definiranje zahtjeva te realizacija tražene razine QoS-a. Također, unosi se veliko dodatno opterećenje zbog čuvanja i ažuriranja stanja svakog toka u svim usmjerivačima. Zbog toga se ne preporuča primjena ovog mehanizma u velikim mrežama. [32]

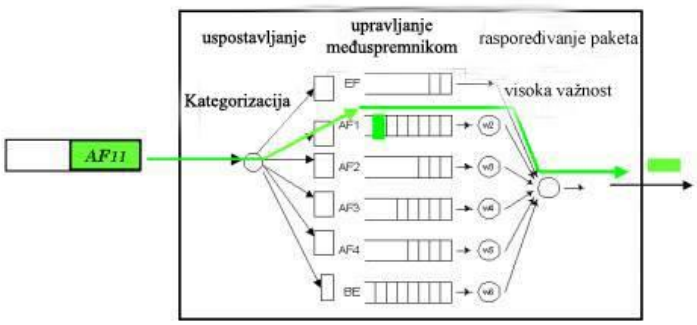


Slika 6.1. IntServ mehanizam, [33]

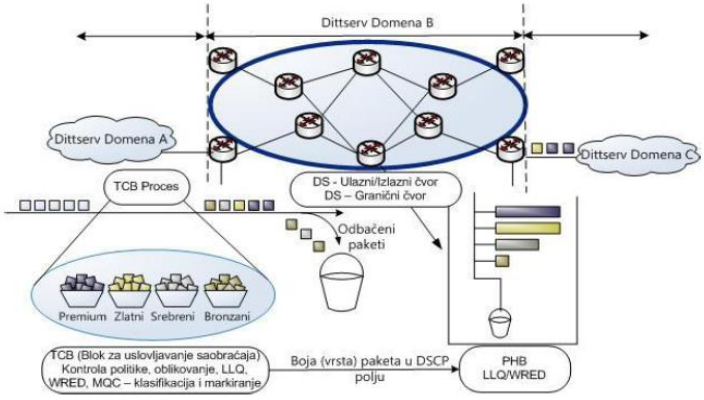
6.2.Model diferenciranih usluga (Differentiated Services)

Model diferenciranih usluga temelji se na pretpostavci da je Internet skup neovisnih mreža koje su upravljane od strane jednog davatelja usluga (ISP-Internet Service Provider). Osiguranje QoS-a za korisnike mreže glavni je cilj razvoja DiffServ modela. Arhitektura ovog modela sastoji se od mnogo elemenata kao što su elementi jezgrene mreže i krajnji elementi te se temelji na jednostavnom modelu gdje se promet koji prolazi DiffServ mrežom klasificira u različite klase usluga i označuje se na granicama mreže.

Nakon klasifikacije paketa na granici mreže, oni se prosljeđuju kroz čvorove mreže prema PHB (Per-Hop Behaviors). Implementacijom PHB u čvorove mreže definira se kako se tretira promet koji pripada određenoj skupini. Posluživanje paketa temelji se na informacijama koje se nalaze u DSCP (Differentiated Service Code Point) polju. To je polje IP zaglavlja čija lokacija ovisi o verziji IP protokola. Paketi s istom DSCP vrijednošću koji putuju istim smjerom, formiraju skupinu prema kojoj se jednako ponaša (slika 6.2.). Za razliku od IntServ arhitekture, navedeni način ne zahtjeva mnogo resursa i obrade podataka.



Slika 6.2. Klasifikacija prometa u DiffServ mehanizmima, [34]



Slika 6.3. Arhitektura DiffServ modela prema IETF-u

DiffServ arhitektura definira dva tipa PHB:

- PHB s ubrzanim proslijeđivanjem (Expedited Forwarding)
- PHB sa sigurnim prosljeđivanjem (Assured Forwarding)

PHB s ubrzanim prosljeđivanjem poslužuvanje je koje jamči vršni protok. Koristi se za osiguravanje kvalitete s malim gubicima, kašnjenjem i kolebanjem kašnjenja od jednog do drugog kraja mreže. PHB sa sigurnim prosljeđivanjem pruža relativno jamstvo QoS-a jer je predviđeno postojanje više klasa. Unutar tih klasa određuju se prioriteti s ciljem sprečavanja zagušenja mreže. [35]

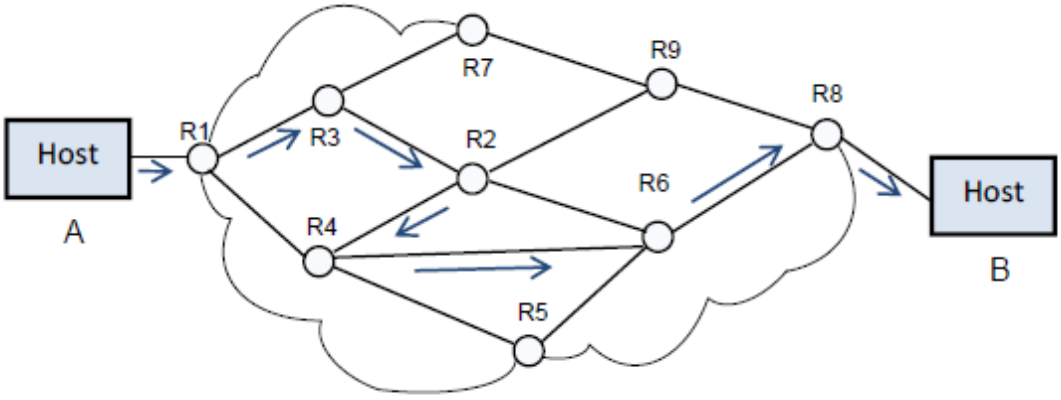
6.3. MPLS (Multiprotocol Label Switching)

MPLS (Multiprotocol Label Switching) je tehnika komutacije paketa koja se koristi u jezgri mreže, dok bi podrška za QoS trebala biti zasnovana na agregatnom pristupu po klasi. To je ključna tehnologija koja otvara vrata za primjenu virtualnih privatnih mreža (VPN) nove

generacije koja osigurava istu privatnost kao kod primjene Frame Relay ili ATM virtualnih krugova (VC)

Za razliku od IntServ-a ili DiffServ-a, MPLS nije arhitektura, već tehnika komutacije u paketnoj mreži, koja ne pripada ni mrežnom sloju, ali ni sloju podatkovne veze OSI modela. Po funkcionalnosti je između ta dva sloja. MPLS ima mogućnost da radi s drugim protokolima mrežnog sloja pa se tako ATM, Internet i Frame Relay mogu uklopiti u koncept navedene tehnike. MPLS pružateljima usluge omogućava servis, u vlastitim mrežama omogućava implementaciju prometnog inženjeringa te postizanje različitih ciljeva koji vode do osiguranja kvalitete QoS parametara. [36]

MPLS mreža sastoji se od rubnih i unutrašnjih čvorova. Ulaskom nekog paketa u MPLS mrežu, u rubnom čvoru mu se dodjeljuje određena labela (oznaka, naljepnica). Rubni ulazni čvor za paket se naziva ingress čvor. U slučaju IP paketa, ta se labela "nalijepi" ispred zaglavlja. Dok ne dođe do odredišnog rubnog čvora – egress čvora, označeni paket komutira se kroz MPLS mrežu po unaprijed dogovorenom putu. Put između ingress i egress čvora naziva se LSP (eng. Label Switched Path). Čvorovi u MPLS mreži nazivaju se i Label Switching Router – LSR jer obavljaju i komutaciju i operacije usmjeravanja. Svaki čvor u MPLS mreži komutira paket samo na osnovu njegove labele, ne analizirajući sadržaj zaglavlja paketa, dok se zaglavlje paketa analizira jedino u ingress čvoru mreže. U ingress čvoru svaki paket pridružuje se određenoj klasi ekvivalentnog prosljeđivanja - FEC-u. Na tom čvoru FEC-u je pridružena labela - jedinstven kod FEC-a. Ako zaglavlje paketa ima rezervirano polje za labelu, kod se upisuje u to polje. Prosljeđivanje svih paketa MPLS mrežom zasnovano je na LFA (Label-Swapping Forwarding) algoritmu.



Slika 6.4. MPLS koncept rada, [37]

7. METODE MJERENJA KVALITETE USLUGE

Za svakog korisnika najvažnija je kvaliteta primljene usluge, neovisno da li se radi o glasovnoj, podatkovnoj ili video usluzi. Korisnik ne može znati koliko se paketa izgubilo pri prijenosu, koliko je kašnjenje te kolika je širina prijenosnog pojasa. Dvije su metode za mjerenje kvalitete usluge; subjektivna i objektivna. Kod subjektivne metode određenom broju korisnika pušta se zvuk ili video kroz određeno vrijeme. Nakon određenog vremena korisnik daje ocjenu kvalitete s kojom je bio zadovoljan. Objektivna metoda kvalitete usluge dobiva se mjerenjem fizičkih osobina mreže. Određuje se postotak izgubljenih paketa, vrijeme kašnjenja i kolebanja kašnjenja te potrebna propusnost za pojedinu uslugu.

7.1. Subjektivne metode mjerenja kvalitete usluge

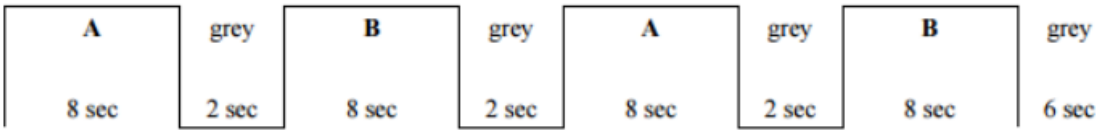
Rezultati subjektivne metode temelje se na subjektivnom osjećaju kvalitete ispitanika. Kod subjektivne metode određenom broju korisnika pušta se zvuk ili video kroz određeno vrijeme u različitim uvjetima. Uvjetom se smatra stanje okoline u kojoj se nalazi ispitanik ili stanje u kojem se nalazi mreža. Na taj način provjerava se kakva je kvaliteta usluge u različitim scenarijima koji se događaju u mreži.

Subjektivna metoda za mjerenje kvalitete zvuka naziva se MOS (Mean Opinion Score). Prema preporuci ITU-T P.800.1 MOS predstavlja srednju vrijednost kvalitete telefonskog sustava koji se koristi bilo da se to odnosilo na slušanje ili na pričanje. [38] Pri ovoj metodi, ispitanici se nalaze u odvojenim sobama u blizini kontrolnog centra. Prema preporuci ITU-T P.830 sobe ne bi trebale biti manje od 20 m^3, s odjekom koji nije veći od 500ms te količinom buke koja nije veća od 30 dB. Ispitanici sudjeluju u nekoliko testova, u testovima stavljaju se u nekoliko situacija, u nekim od testova su samo govornici, u nekima slušatelji, a u nekima međusobno komuniciraju u propisanim uvjetima. Nakon svakog testa, ispitanici bilježe razinu kvalitete usluge u skalu koja sadrži brojeve od jedan do pet, gdje jedan označava lošu uslugu, a pet odličnu uslugu, (slika 7.1.). [39]

MOS	KVALITETA	UMANJENJE
1.	odlično	neprimjetno
2.	dobro	primjetno, ali ne iritantno
3.	pošteno	malo iritantno
4.	slabo	iritantno
5.	loše	jako iritantno

Slika 7.1. Prikaz skale za određivanje kvalitete zvuka, [40]

Najpouzdanija subjektivna metoda za mjerenje kvalitete video usluge je DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) metoda. U ovoj metodi, ispitanicima se prikazuju dvije verzije jednog videa, verzija A i verzija B. (slika 7.2). U tim verzijama može doći do nekih problema, odnosno loše boje na videu, nedostatka detalja, nedovoljne oštrine i sl. koje korisnik ocjenjuje na temelju svoje percepcije u skalu koje je podijeljena na pet jednakih dijelova, od lošeg pa sve do odličnog. [41]



Slika 7.2. Prikaz DSCQS metode, [42]

7.2. Objektivne metode mjerenja kvalitete usluge

Kod objektivne metode upotrebljavaju se različiti programi i algoritmi kojima se određuje kvaliteta usluge. Kod ove metode ne može se vidjeti razina zadovoljstva korisnika, ali se mogu vidjeti razlozi zbog kojih je usluga lošije kvalitete. Pomoću ovih metoda moguće je izračunati gubitke u mreži, kašnjenje, propusnost te broj izgubljenih paketa.

Objektivna metoda za mjerenje audio kvalitete je PEAQ (Perceptual Audio Quality Measure). PEAQ modeli u pojedinim izvedbama upotrebljavaju široko područje percepcijskih transformacija prezentirajući signal u uvjetima modulacije, specifične glasnoće, pobude, ekvalizacije, pobude ekvalizirane za linearno filtriranje i sporog mijenjanja pojačanja. [43]

PESQ algoritam (Perceptual Evaluation of Speech Quality – PESQ) je objektivna metoda koja se koristi za predviđanje subjektivne kvalitete ispitivanja govornih signala. U dugogodišnjim istraživanjima ustanovljeno je da ova metoda ispitivanja uspješno mjeri učinke

izobličenja signala i utjecaj šuma na informaciju kod jednosmjernih komunikacija. PESQ algoritam uspoređuje originalni signal s degradiranim signalom koji nastaje prolaskom izvornog signala komunikacijskim sustavom. PESQ algoritam neovisan je od komunikacijskog sustava te je stoga pogodan za testiranje različitih vrsta telefonskih komunikacija. Testiranje se provodi s unaprijed pripremljenim referentnim signalom u trajanju od 8 sekundi koji se i koristio za procjenu uspješnosti algoritma. Poruke su na različitim jezicima i izgovaraju ih različiti govornici, a formirane su od rečenica s međusobnim pauzama. Preporuka je da se mjerenje obavlja u više navrata s različitim porukama. Algoritam koristi modeliranje slušnog sustava čovjeka i modeliranje raspoznavanja kvalitete govornog signala (kognitivno modeliranje) te uspoređuje izvorni i degradirani signal. Rezultat usporedbe je ocjena kvalitete govornog signala odaslanog komunikacijskim sustavom. [44]

PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) je postupak za određivanje kvalitete video signala. PSNR postupkom dobije se ocjena kvalitete, odnosno stupanj izobličenja promatranog sadržaja, koja je rezultat usporedbe i predstavlja logaritamski omjer vršnog signala ekvivalentnog kvadratu maksimalne moguće vrijednosti elementa slike i snage šuma ekvivalentne iznosu srednje kvadratne pogreške MSE (Mean Square Error) između elemenata originalnog, referentnog i rekonstruiranog, izobličenog slikovnog sadržaja. [45]

$$PSNR_{dB} = 10log_{10}\frac{(2^n-1)^2}{MSE}, \quad (4)$$

gdje je n broj bita korištenih za kodiranje elemenata izvorne slike dok MSE predstavlja srednju kvadratnu pogrešku između elemenata originalne xij i izobličene slike x'ij.

MSE (eng. Mean Squared Error), "Srednja kvadratna greška" je mjerna veličina koja se koristi za procjenu kvalitete rekonstruiranja slike u odnosu na originalnu sliku. Pokazuje srednju kvadratnu grešku za dvije slike ili okvira. [46] Izračunava se po formuli:

$$d(X,Y) = \frac{\sum_{i=1,j=1}^{mn}(X_{ij}-Y_{ij})^2}{mn}, \quad (5)$$

SSIM (eng. Structural Similarity Index) indeks, postupak je koji se temelji na određivanju strukturalne sličnosti, a karakterističan je po visokoj korelaciji sa subjektivnim rezultatima ocjene kvalitete slikovnog sadržaja. Kod ovog postupka iskorištava se svojstvo

ljudskog vizualnog sustava osjetljivog na izobličenja strukturalne informacije te promjene vezane uz kontrast i svjetlinu nastale unutar vizualnog sadržaja. Kvaliteta ispitnog slikovnog sadržaja može se odrediti mjerenjem izobličenja 30 sastavnih struktura, kao i promjene svjetline i kontrasta. Kvaliteta je izražena preko SSIM indeksa kvalitete, a računa se lokaliziranom usporedbom originalne i izobličene slike i to za svaki element čime se dobiva slika/mapa SSIM indeksa. [47]

$$SSIM(x,y) = l(x,y)c(x,y)s(x,y), \quad (6)$$

$l(x,y) = \frac{2\mu_x\mu_y+C_1}{\mu_x^2+\mu_y^2+C_1}$, *(7)* parametar svjetline

$c(X,Y) = \frac{2\sigma_x\,\sigma_y+C_2}{\sigma_x^2+\sigma_y^2+C_2}$, *(8)* parametar kontrasta

$s(x,y) = \frac{\sigma_{xy}+C_3}{\sigma_x\sigma_y+C_3}$, *(9)* parametar strukturalne informacije

MSAD metrika temelji se na vrijednosti koja je srednja apsolutna razlika komponenti boja u referentnim točkama slike. Ova metrika koristi se prilikom testiranja kodeka i filtera, [48] MSAD se računa kao:

$$d(X,Y) = \frac{\sum_{i=1}^{mn}{}_{j=2}|X_{ij}-Y_{ij}|}{mn}, \quad (10)$$

Delta metrika temelji se na vrijednosti koja je srednja razlika komponenti boja u referentnim točkama slike. Također se, kao i MSAD metrika, koristi prilikom testiranja kodeka 32 i filtera. [48] Definira se prema formuli:

$$d(X,Y) = \frac{\sum_{i=1}^{mn}{}_{j=2}|X_{ij}-Y_{ij}|}{mn}, \quad (11)$$

MSU Blurring Metric, metrika je koja omogućuje uspoređivanje jakosti zamućivanja dvije slike. Ukoliko je vrijednost metrike za prvu sliku veća, to znači da je druga slika više zamućena od one prve. [48]

8. MJERENJE KVALITETE USLUGE ZA TIPIČNE MREŽNE APLIKACIJE

Poznato je kako se putem interneta upotrebljavaju različite aplikacije koje zahtijevaju različite mrežne parametre i koje imaju određene zahtjeve za kvalitetom usluge, kako bi usluga bila pogodna za korisnika. Neke od njih zahtijevaju mali postotak gubitaka paketa, neke veliku propusnost mreže, a neke malo kašnjenje. Također, pojedine aplikacije osjetljive su na neke parametre, dok na neke mogu imati veću toleranciju od ostalih.

Uz pomoć programskog alata Wireshark analizirani su QoS parametri za podatkovne, glasovne i video aplikacije. Wireshark je softverski alat koji „razumije“ strukturu različitih mrežnih protokola. Iz tog razloga sposoban je prikazati podatke iz paketa specifičnih za različite protokole. Wireshark koristi biblioteku koda pcap (eng. Packet capture) za hvatanje paketa, što znači da može hvatati samo pakete s mreža koje pcap podržava (Ethernet, IEEE 802.11, …). Pcap je biblioteka koja raznim programima pruža programsko sučelje (eng. API – Application Programming Interface) za dohvaćanje paketa s mrežnih sučelja na operacijskim sustavima Windows i Linux/Unix. Podaci se mogu uhvatiti izravno s aktivne mrežne veze ili se mogu učitati iz datoteke u kojoj su pohranjeni već uhvaćeni paketi. Uhvaćeni podaci mogu biti prikazani preko grafičkog korisničkog sučelja ili preko terminala (komandne linije) kod korištenja TSharka. Podaci se mogu programski uređivati preko komandne linije ili pomoću potprograma „editcap“. Wireshark sadrži i filter za prikaz podataka pomoću kojega se može prikazati i samo dio podataka, ovisno o uvjetu filtriranja. Budući da je Wireshark open source alat, relativno je jednostavno implementirati programske dodatke za nove protokole.

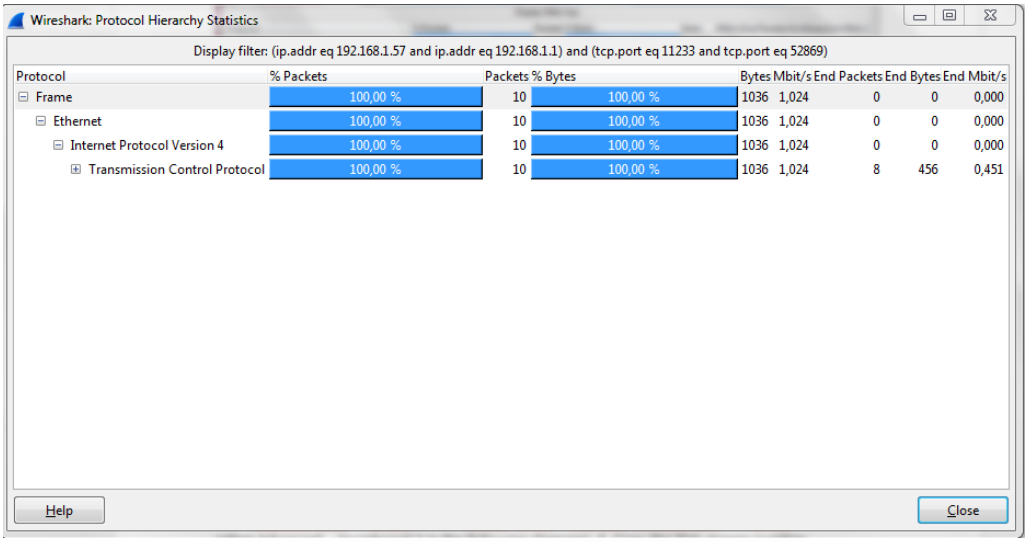
Vrsta prometa	Maksimalni broj izgubljenih paketa	Maksimalno jednosmjerno kašnjenje	Maksimalne varijacije kašnjenja	Zajamčena propusnost po sjednici
VOIP	1%	200ms	30ms	12 do 106kbps*
Videokonferencija	1%	200ms	30ms	Veličina sesije plus 20%
Prijenos videa strujanjem	2%	5s	N/A	Ovisi o kodiranom formatu i o video protoku
Podaci	promjenjivo	promjenjivo	promjenjivo	promjenjivo

Slika 8.1. Zahtjevi za kvalitetom usluge kod pojedinih aplikacija, [49]

8.1. QoS zahtjevi podatkovnih aplikacija

Kod podatkovnih usluga, odnosno kod prijenosa tekstova, brojeva i programa, tolerancija na gubitke paketa vrlo je mala. Velika tolerancija je na kašnjenje paketa kao i na varijacije kašnjenja. Razlog tomu je što takvi podaci nisu uvijek odmah potrebni niti će kašnjenje od nekoliko milisekundi ili sekundi bitnije utjecati na krajnji ishod. Ukoliko dođe do velikog kašnjenja paketa, te ako paket zbog toga bude odbačen, zahvaljujući TCP protokolu paket će biti ponovno poslan te neće utjecati na kvalitetu usluge. Kod ovih aplikacija propusnost varira ovisno o usluzi i njezinoj namjeni. Ukoliko se kod nekih usluga dogodi greška, odnosno gubitak paketa (e-mail, web pretraživanje, internet bankarstvo itd.) to može imati velike posljedice. Dakle, kod prijenosa ove vrste usluga najbitniji faktor je pouzdanost te kvaliteta usluge ponajviše ovisi o tome.

Wireshark ima nekoliko načina za mjerenje propusnosti. Otvoren je web preglednik te stranica s koje je skinuta fotografija velikog formata. Dakle, na taj način testiramo HTTP protokol. Započeto je hvatanje paketa u wiresharku. Za promatranje određenih paketa u polje filter upisan je HTTP. Nakon što su pronađeni traženi paketi, desnim klikom na jedan od njih odabiremo **conversation filter > ip / tcp**. Nakon što je izoliran traženi promet, iz izbornika odabire se **Statistics > Protocol Hierarchy.** Slika 8.2. prikazuje propusnost po protokolu koja je u našem slučaju 1,024Mbit/s.

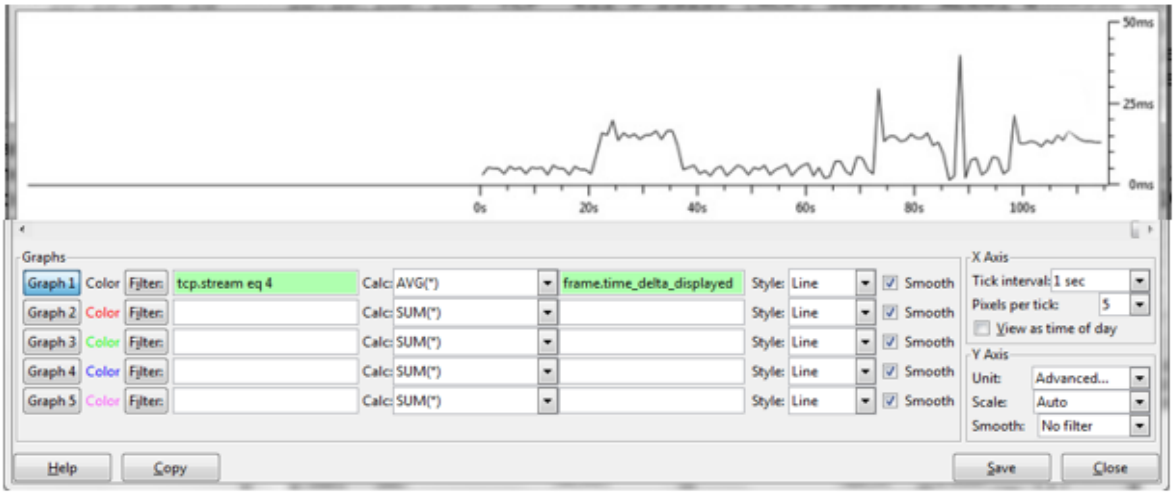


Slika 8.2. Propusnost IP/TCP protokola

Određivanje kašnjenja i varijacije kašnjenja

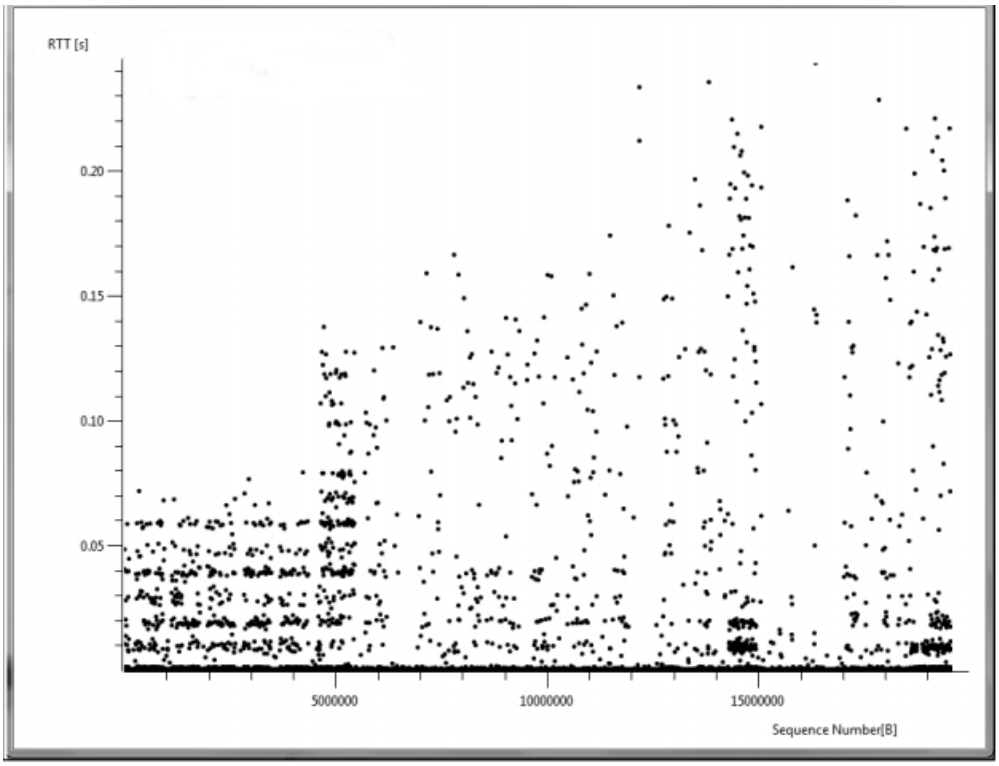
Za početak potrebno je odabrati TCP paket, desnim klikom na njega potrebno je odabrati Follow TCP Stream. Zatim je potrebno kopirati niz koji se pojavio u polju filter. Iz izbornika

Statistics odabire se IO graph. Na Y osi odabire se Advanced, u polje za filter IO grafa upisuje se niz koji smo prethodno kopirali iz filter polja. Odabiremo AVG te upisujemo frame.time_delta_displayed. Na slici 8.3. prikazano je vrijeme između okvira u milisekundama.



Slika 8.3. Vrijeme između okvira za TCP protocol

Prelaskom na statistiku TCP Stream Graph > Round Trip Time Graf, dobiju se isti rezultati kako što je prikazano na sljedećem grafu. Na slici 8.4. vidljivo je da RTT varira između vrijednosti 10ms-200/300ms.



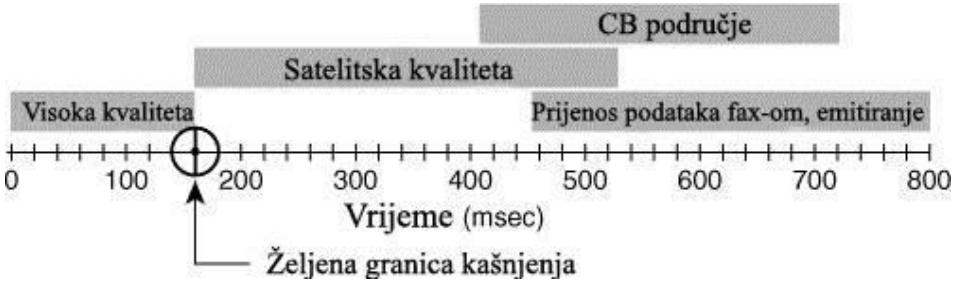
Slika 8.4. RTT

8.2. QoS zahtjevi kod glasovnih aplikacija

VoIP je svakako najveći predstavnik glasovnih aplikacija u višeuslužnim mrežama. Za razliku od podatkovnih usluga gdje je za zadovoljavanje kvalitete najvažnija sigurna dostava paketa, kod VoIP-a na kvalitetu usluge utječu i ostali parametri, posebno kašnjenje, također širina prijenosnog pojasa mora biti veća nego kod podatkovnih aplikacija.

U VoIP mrežama upotrebljava se UDP protokol, te često dolazi do gubitaka paketa zbog nemogućnosti retransmisije. Gubitak paketa ne uzrokuje samo otežanu komunikaciju nego može uzrokovati čak i prekid poziva. Gubitak većeg broja paketa manifestira se kao „pucketanje“ u govornom toku, a ukoliko se paketi gube jedan za drugim u snopu, audioefekt je znatno lošiji nego kada se paketi gube jedan za drugim u određenim vremenskim intervalima. Gubljenje paketa u snopu uzrokuje gubljenje većeg dijela govorne informacije ili izobličenje što uzrokuje lošu kvalitetu koja je svakako uočljiva korisniku. Osim što gubljenje većeg dijela paketa uzrokuje izobličenje, te pakete teško je zamijeniti. [12] Postoji nekoliko metoda prikrivanja paketa u IP telefoniji, a najčešće su ponavljanje zadnjeg paketa koji je stigao na odredište ili se na mjesto izgubljenog paketa postavlja šum ili tišina. Prema ITU-T preporuci G.729 gubitak paketa u VoIP-u ne bi trebao biti iznad 1% kako bi se izbjegle greške. [50]

Kašnjenje također može uzrokovati degradaciju kvalitete glasa jer se radi o stvarnovremenskoj aplikaciji koje su izrazito osjetljive na kašnjenje. Ako je kašnjenje veće od 100ms razgovori su teško razumljivi, a ako je kašnjenje veće od 200ms kvaliteta usluge postaje neprihvatljiva. Iz tog razloga, ITU-T u svojoj preporuci G.114 ograničava maksimalno kašnjenje na 300ms između dva pristupnika, odnosno 150ms u jednom smjeru, što je i vidljivo na slici 8.5. Za međunarodne pozive, kašnjenje do 300ms je prihvatljivo, pogotovo ako se radi o satelitskom prijenosu. [51]

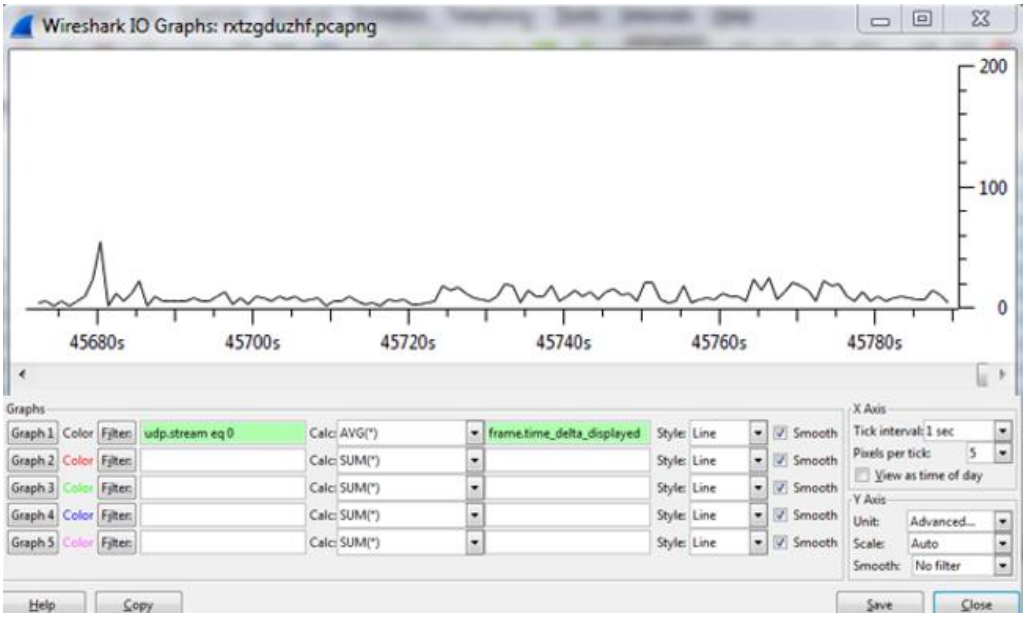


Slika 8.5. Dozvoljeno kašnjenje prema ITU-T, [52]

Osim kašnjenja, VoIP ne tolerira niti velike varijacije u kašnjenju. Razlike u vremenu dolaska paketa na odredište mogu uzrokovati kratke prekide u komunikaciji. Kako bi se to spriječilo, dimenzioniraju se međuspremnici varijacije kašnjenja koji služe za uklanjanje kolebanja kašnjenja, njihova je uloga da izglade varijacije kašnjenja jer se glas mora isporučiti konstantnom brzinom. Osim toga, međuspremnici varijacije kašnjenja imaju mogućnost izvršiti ponovni poredak paketa za one pakete koji su pristigli van reda. To rade na način da zadržavaju dva do četiri paketa te uvode dodatno kašnjenje od 20-80ms, što ovisi o veličini paketa. Kolebanje kašnjenja ne bi trebalo biti veće od 60ms kako bi se postigla zadovoljavajuća kvaliteta. [52]

Vrlo bitan faktor kod VoIP-a je i širina prijenosnog pojasa. Pomoću jednostavnih matematičkih metoda lako je izračunati potrebnu širinu za prijenos govora, no problem stvara činjenica što je to potrebno odrediti za svaku uslugu u mreži. Ukoliko se dodijeli premalo prijenosnog pojasa za prijenos govora, to može uzrokovati ozbiljne gubitke kvalitete. Iz toga razloga se govoru, kao i signalizaciji, u mreži dodjeljuje odgovarajući prioritet u odnosu na drugi promet. Kako bi se takva potreba smanjila koriste se posebni algoritmi koji komprimiraju govor u pakete, kao i mehanizam koji potiskuje tišinu.

Pomoću IO grafa određeno je kašnjenje i varijacije kašnjenja za UDP paket. Na slici 8.6. prikazano je vrijeme između okvira u milisekundama.



Slika 8.6. Vrijeme između okvira za UDP protokol

8.3. QoS zahtjevi kod video aplikacija

Video zapisi mogu se prenositi mrežom na vrlo sličan način kao i prijenos govora samo što se u ovom slučaju prenose i pokretne slike uz zvuk. Jedna od najvažnijih specifičnosti video usluga je propusnost mreže, odnosno njezinih dijelova kako ne bi došlo do zagušenja te gubitaka paketa. Brzine prijenosa kojima korisnik ostvaruje pristup mreži, imaju utjecaj na dimenzioniranje kapaciteta, a većina proizvedenog prometa ovih usluga zahtjeva varijabilnu brzinu prijenosa budući da se komprimiranjem postiže prenošenje samo onih uzoraka slika koje se mijenjaju. Većina zahtijevanog kapaciteta ovisit će o sadržajima koje korisnici gledaju u pojedinom trenutku. Te promjene mogu biti velike ukoliko korisnici gledaju prijenos sportske utakmice ili manje ako je prijenos čitanja vijesti za vrijeme dnevnika što predstavlja izazov u dizajniranju zahtijevanoga kapaciteta kada više korisnika istovremeno gleda isti sadržaj.

Važna značajka videa na zahtjev je zahtijevanje kapaciteta za dvosmjerni prijenos da korisnicima bude omogućeno da odabiru željene sadržaje. Kod ovog načina prijenosa, širina prijenosnog kanala po kojima se šalju paketi može biti manja za razliku od videokonferencija i prijenos videa strujanjem, iz razloga što ovaj način ima mogućnost prijenosa dijela filma, odnosno određenog broja paketa na računalo, nakon čega se može početi s njegovim prikazivanjem. Na taj način stvori se određena zaliha paketa, dok se ta zaliha troši, mrežom se donose novi paketi. Zaliha treba biti dovoljna da potrošnja sadržaja (prikaz na ekranu), uz raspoloživi dotok novih sadržaja, ne dovede do toga da se nema što prikazati. Svakako najsigurniji način gledanja filma je kopiranje cijelog sadržaja filma s mreže na računalo. Ovaj način prijenosa videa ima najbolju kvalitetu jer ima vremena nadomjestiti izgubljene pakete kao i omogućiti svim paketima da stignu na vrijeme. Kod ove usluge, kašnjenje (koje može biti i do nekoliko sekundi), kolebanje kašnjenja kao i gubitak paketa nemaju prevelik utjecaj na kvalitetu.

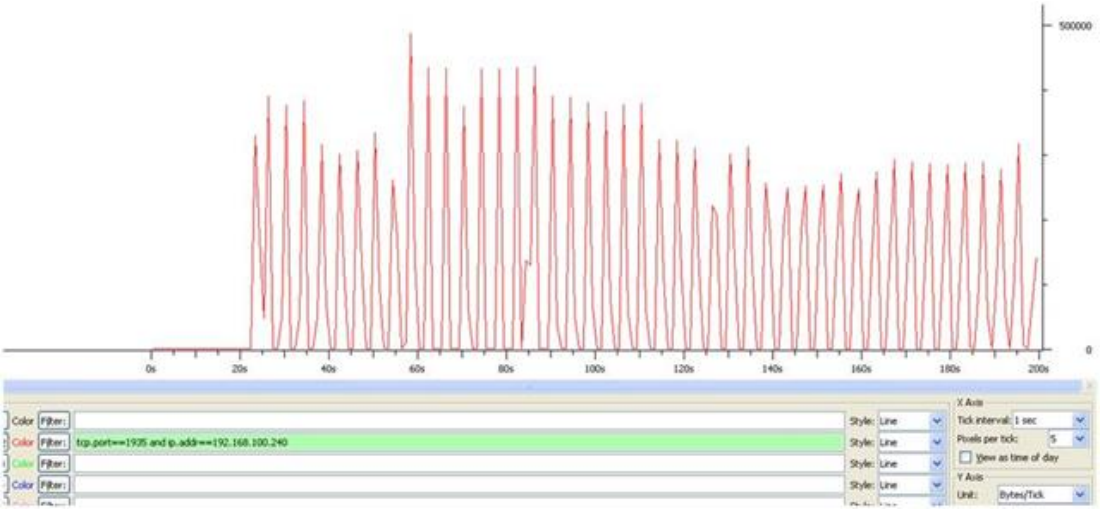
Kod streaminga se uz određeno kašnjenje može zadržavati vrlo mala zaliha sadržaja na terminalnom uređaju klijenta. Za uspješan prijenos sadržaja ovom metodom neophodno je da veza ima zahtijevanu širinu prijenosnog pojasa koju taj prijenos iziskuje. Kod prijenosa videa strujanjem koristi se UDP protokol te ovaj način prijenosa nema mogućnost retransmisije izgubljenih paketa, a posljedice izgubljenih paketa mogu značajno utjecati na kvalitetu slike i ne bi trebao biti veći od 1%. Osim gubitka paketa i kašnjenje može bitno utjecati na kvalitetu videa te ne bi trebalo biti veće od 10s prema preporukama ITU-T T.1010, dok za kolebanje

kašnjenja nema posebnih zahtjeva zato što postoji međuspremnik u koji se spremaju paketi. [53]

Videotelefonija zahtjeva izraziti veliku propusnost veza, a pogotovo videokonferencija koja omogućava da međusobno udaljeni učesnici takve konferencije izravno vide i čuju jedni druge. Kod takvog prijenosa potrebno je ostvariti prijenos video i zvučnih sadržaja od svakog sudionika do svih ostalih. Ukoliko propusnost kod video prijenosa nije dovoljna, onda se snimke komprimiraju (smanjuje se broj boja) i smanjuje se broj snimki u sekundi, pritom, prijenos zvuka treba sačuvati, čak i kad se snimka sasvim zaustavi. Kod ovakvog prijenosa, česti su gubici paketa zbog male propusnosti. Za prijenos paketa u videokonferencijama se koristi UDP protokol jer je važnija brzina pristizanja paketa nego točnost pa ovaj sustav nema mogućnost retransmisije paketa. Dozvoljeno kašnjenje, kao i gubitak paketa je prema preporukama ITU-T T.1010 isti kao i kod VoIP-a, kašnjenje u jednom smjeru ne bi trebalo biti veće od 150ms, a gubitak paketa ne bi trebao biti veći od 1%, dok kolebanje kašnjenja nije definirano za ovu uslugu. [53]

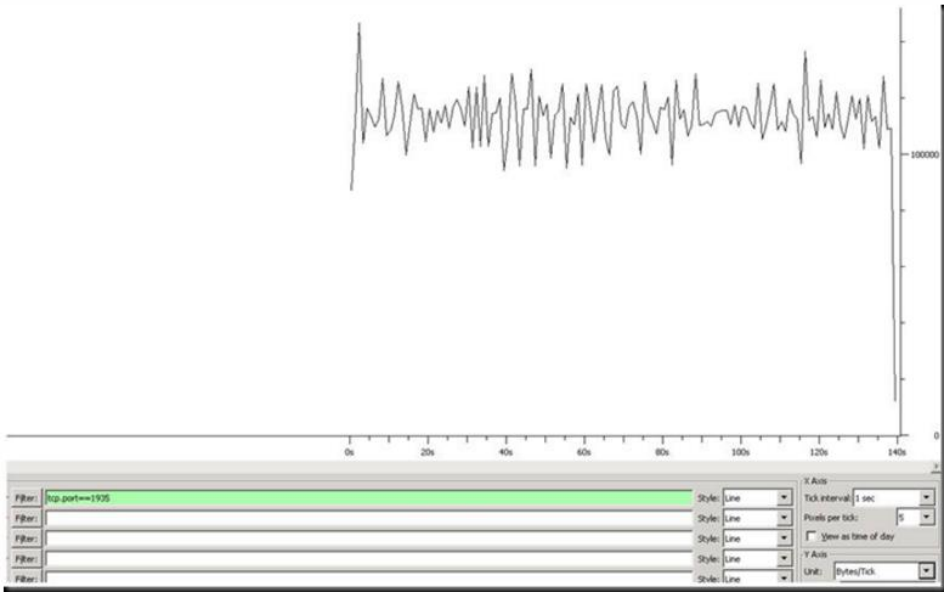
Za početak, promatrano je normalno ponašanje video stream-a. U BBC slučaju video prikaz koristi RTMP (port 1935), dok uobičajeni video prikazi koriste port 80 ili 443. Kao polazna točka korišten je I/O graf. Ovaj graf je neophodan kada se promatra propusnost mreže. On prikazuje broj paketa u sekundi ili broj bitova u sekundi. I/O graf nam omogućava filtriranje paketa, tako je moguće pakete filtrirati po protokolu, portu, IP adresi.

U slučaju promatranog videa paketi su filtrirani po portu 1935 i po pripadajućoj IP adresi. Kao rezultat dobiven je I/O graf na slici 8.7. Na x osi prikazan je vremenski interval, dok je na y osi prikazan broj paketa po vremenskom intervalu.



Slika 8.7. I/O graf

Video nije dobar u smislu izvedbe, jer razmak između šiljaka predstavlja intervale vremena kada klijent ne komunicira sa video poslužiteljem. Graf na slici 8.8. prikazuje dobru performansu video prikaza. Šiljci nisu jako izraženi, a graf pada na 0 bajta u slučaju kada je zaustavljen prikaz videa.



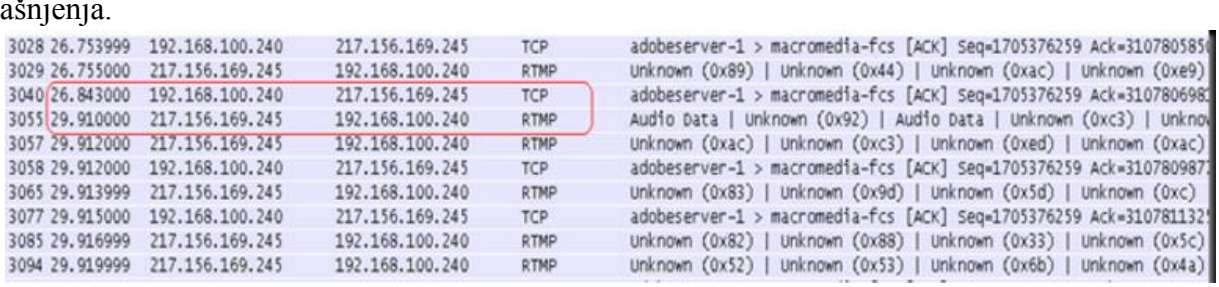
Slika 8.8. I/O graf za dobar video prikaz

Zumiranjem prva dva šiljka vidimo da se prva padina nalazi oko 28s (slika 8.9.).



Slika 8.9. Djelić I/O grafa

Ako se vratimo na stvarno hvatanje paketa (slika 8.10.), možemo vidjeti kako na 26s proxy šalje ACK poslužitelju, ali poslužitelj reagira natrag s nekim podacima u 29s, dakle s 3s kašnjenja.

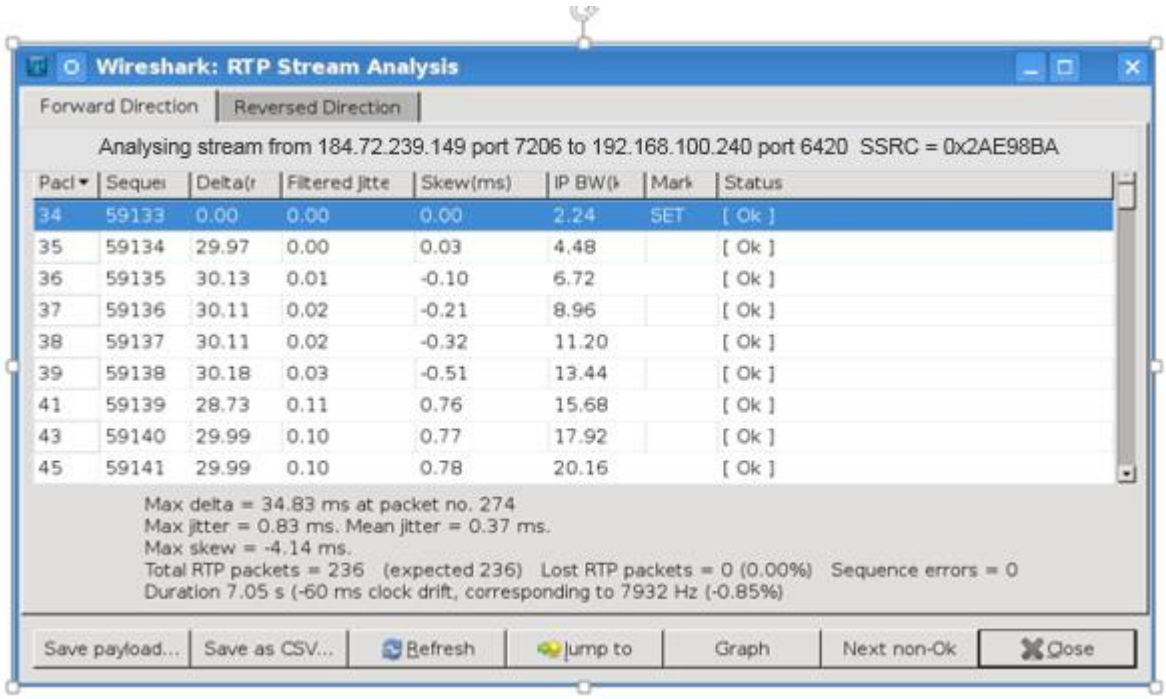


3028	26.753999	192.168.100.240	217.156.169.245	TCP	adobeserver-1 > macromedia-fcs [ACK] Seq=1705376259 Ack=3107805850
3029	26.755000	217.156.169.245	192.168.100.240	RTMP	Unknown (0x89) | Unknown (0x44) | Unknown (0xac) | Unknown (0xe9)
3040	26.843000	192.168.100.240	217.156.169.245	TCP	adobeserver-1 > macromedia-fcs [ACK] Seq=1705376259 Ack=3107806982
3055	29.910000	217.156.169.245	192.168.100.240	RTMP	Audio Data | Unknown (0x92) | Audio Data | Unknown (0xc3) | Unknow
3057	29.912000	217.156.169.245	192.168.100.240	RTMP	Unknown (0xac) | Unknown (0xc3) | Unknown (0xed) | Unknown (0xac)
3058	29.912000	192.168.100.240	217.156.169.245	TCP	adobeserver-1 > macromedia-fcs [ACK] Seq=1705376259 Ack=3107809871
3065	29.913999	217.156.169.245	192.168.100.240	RTMP	Unknown (0x83) | Unknown (0x9d) | Unknown (0x5d) | Unknown (0xc)
3077	29.915000	192.168.100.240	217.156.169.245	TCP	adobeserver-1 > macromedia-fcs [ACK] Seq=1705376259 Ack=3107811325
3085	29.916999	217.156.169.245	192.168.100.240	RTMP	Unknown (0x82) | Unknown (0x88) | Unknown (0x33) | Unknown (0x5c)
3094	29.919999	217.156.169.245	192.168.100.240	RTMP	Unknown (0x52) | Unknown (0x53) | Unknown (0x6b) | Unknown (0x4a)

Slika 8.10. Hvatanje paketa

Za analizu RTP protokola, instaliran je VLC media player. Putem mrežne veze otvoren je video čiji je URL: rtsp://184.72.239.149/vod/mp4:BigBuckBunny_115k.mov, te su u wiresharku snimljeni RTP paketi. RTP analizom dobiveni su sljedeći rezultati (slika 8.7.). Počevši s osnovnim podacima kao broj paketa i redni broj, daljnje statistike izrađene su na temelju vremena dolaska, kašnjenja, varijacije kašnjenja, veličine paketa.

Osim analize paketa, slika 8.11. prikazuje ukupnu statistiku s minimumima i maksimumima za vrijeme dolaska, varijacije kašnjenja i vrijeme iskrivljenja. Također, prikazan je i broj izgubljenih paketa.



Slika 8.11. RTP analiza

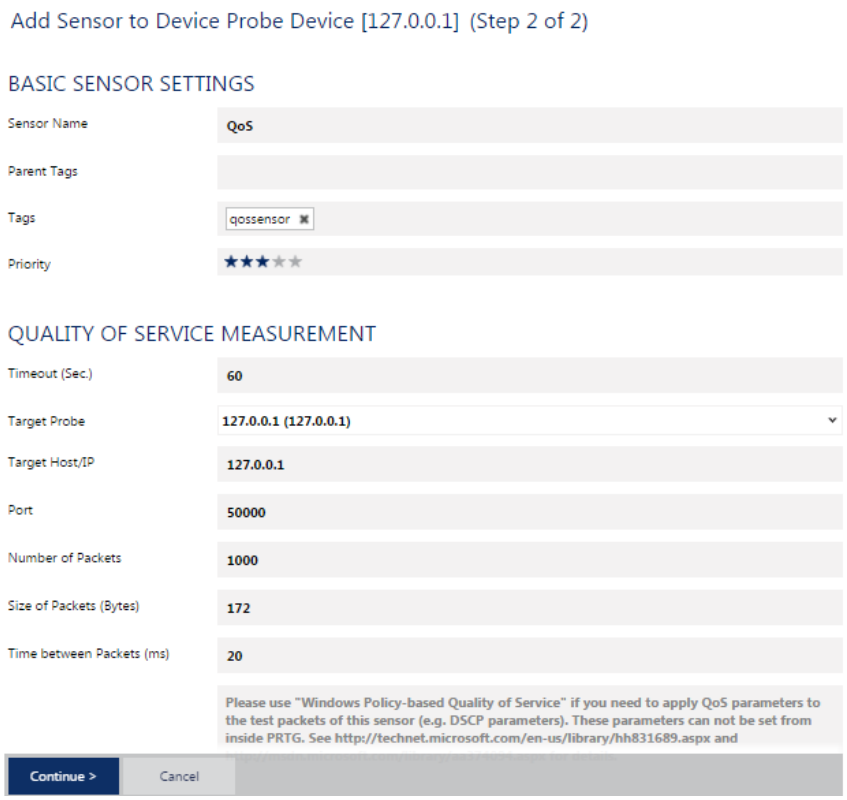
Osim programskog alata Wireshark, korišten je i PRTG. PRTG Network Monitor moćan je alat za praćenje i analizu mrežnog prometa. Osigurava dostupnost mrežnih komponenti te prati mrežni promet i iskoristivost. Nakon instalacije, koja je jednostavna, sučelje alata otvara se u web pregledniku i nudi se mogućnost početne konfiguracije – dodavanja ili detekcije senzora i uređaja koje se želi pratiti, postavljanje osnovne (početne) stranice i sl. Samo sučelje omogućava pregled brojnih mogućnosti, te prikaz sadržaja na različite načine. Moguće je pratiti SNMP (eng. Simple Network Management Protocol) pakete, korištenje mrežnih resursa i dr., a svi se podaci spremaju u bazu podataka i mogu se kasnije pregledavati i analizirati. Isto tako, omogućena je i izrada grafičkih izvještaja iz snimljenih podataka, pri čemu opet postoji nekoliko načina prikaza koje je moguće odabrati. Alat zaista pruža puno mogućnosti korisnicima, a nije kompliciran za korištenje jer se uz svaku od ponuđenih mogućnosti nudi i kratko objašnjenje – čemu služi, kako se koristi i sl. Program je koristan, posebno za mrežne administratore, ali i za osobnu uporabu. [54]

QoS (Quality of Service) jednosmjerni senzor prati parametre koji se odnose na kvalitetu mrežne veze između dviju sonda. To je važno, na primjer, kada se koristi Voice over IP (VoIP). [55]

Senzor šalje niz UDP paketa iz matične sonde u drugu sondu i mjeri parametre:

a) Varijacije kašnjenja u milisekundama (maksimum, minimum, prosjek)
b) Paketne varijacije kašnjenja u milisekundama (maksimum, minimum, prosjek)
c) Neispravne pakete u postocima
d) Ponovljene paketi u postocima
e) Izgubljene paketi u postocima
f) Pakete iz reda u postocima
g) Vrijeme za posljednji paket u milisekundama

Za početak, potrebno je dodati senzor u sondu uređaja. Zatim se postavljaju određeni parametri za odabrani senzor, (slika 8.12.)



Slika 8.12. Parametri QoS jednosmjernog senzora

Ime senzora –Smisleni naziv za identifikaciju senzora. Prema zadanim postavkama, PRTG pokazuje taj naziv u stablu uređaja, kao i na alarmima, izvješću, kartama.

Roditeljske oznake – Prikazuje oznake da je taj senzor naslijeđen od nadređenog uređaja, grupe, sonde.

Oznake – U ovo polje unosi se jedna ili više oznaka odvojenih zarezom. Moguće je koristiti grupne senzore.

Prioritet - Ova postavka određuje gdje je senzor se nalazi na popisima senzora. Prioritet je na vrhu popisa. Odaberite od jedne zvijezde (nizak prioritet) do pet zvjezdica (glavnim prioritetom).

Prekid – Moguće je unijeti prekid u sekundi za zahtjev. Ukoliko je odgovor trajao duže od određene vrijednosti, senzor će otkazati zahtjev i pokazati poruku o pogrešci. Unosi se cijeli broj. Maksimalna vrijednost je 900 sekundi (15 minuta).

Ciljna sonda – Određivanje ciljne sonde koja će primiti UDP pakete. Padajući izbornik prikazuje sve lokalne i udaljene probe svog postava.

Ciljani domaćin / IP - IP adresa ciljne sonde.

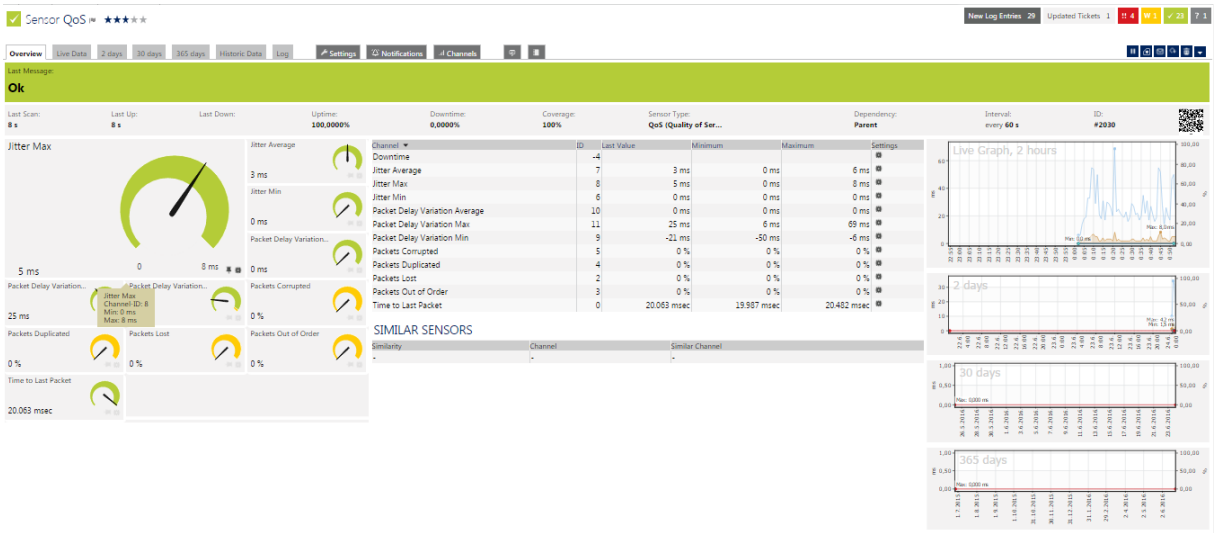
Otvor - Izvorni i ciljni priključak za UDP pakete. Ovaj priključak se koristi na oba izvora i cilja sonde. Za svaki senzor QoS potrebno je koristiti drugi priključak kako bi bili sigurni da paketi mogu biti pravilno dodijeljeni. Unosi se cijeli broj između 1024 i 65536.

Broj paketa - Definirajte koliko paketa senzor šalje na svakom intervalu skeniranja. Mora se unijeti cijeli broj. Zadana vrijednost je 1000.

Veličina paketa (bytes) - Određivanje veličine paketa koje šalje senzor u bajtovima u bajtovima paketa koji senzor šalje. Mora se unijeti cijeli broj. Zadana vrijednost je 172.

Vrijeme između paketa (MS) - Određivanje vremena u milisekundama koje senzor čeka između dva paketa. Mora se unijeti cijeli broj. Zadana vrijednost je 20. [56]

Potvrdom unesenih parametara senzor je započeo mjerenje QoS parametara. (slika 8.13.)



Slika 8.13. QoS jednosmjerni senzor

QoS (Quality of Service) Round Trip Sensor

QoS (Quality of Service) kružni senzor prati parametre koji se odnose na kvalitetu mrežne veze između dvije sonde. To je važno, na primjer, kada se koristi Voice over IP (VoIP). Senzor šalje niz UDP paketa od izvora sonde do cilja na 'kraju'. Nakon toga paketi se šalju natrag u izvor sonde ("obilazak"). [57]

Senzor mjeri sljedeće parametre:

a) Podrhtavanje u milisekundama (maksimum, minimum, prosjek)
b) Paketne varijacije kašnjenja u milisekundama (maksimum, minimum, prosjek)
c) MOS (Mean Opinion Score)
d) Neispravne pakete u postocima
e) Ponovljene pakete u postocima
f) Izgubljene pakete u postocima
g) Pakete iz reda u postocima
h) Povratno vrijeme putovanja (RTT) u milisekundama (maksimum, minimum, prosjek)
i) Vrijeme za posljednji paket u milisekundama

Postavljanje senzora vrši se na isti način kako je navedeno za QoS jednosmjerni senzor, samo što je u ovom slučaju korišten port 50001 te su dobivena sljedeća mjerenja; (slika 8.14.). Za razliku od QoS jednosmjernog senzora maksimalne varijacije kašnjenja veće su za 10msec. Što se tiče prosječnih paketnih varijacija kašnjenja u milisekundama jednake su 0 za oba senzora. Postotak izgubljenih, neispravnih i ponovljenih UDP paketa jednak je nuli u oba slučaja. Kod QoS kružnog senzora prosječno povratno vrijeme putovanja (RTT) paketa je 2msec.



Slika 8.14. QoS kružni senzor

9. ZAKLJUČAK

Višeuslužne mreže omogućavaju prijenos više vrsta usluga preko iste infrastrukture, a najveća i najpoznatija takva mreža je Internet. Danas Internet predstavlja bitnu ulogu u poslovnom ili privatnom životu svakog čovjeka. Pomoću interneta korisnici imaju različite mogućnosti te imaju mnogo usluga i aplikacija koje svakodnevno upotrebljavaju. Upravo zbog mnoštva aplikacija i usluga koje se pojavljuju nije bilo moguće implementirati mreže koje bi bile namijenjene samo za jednu vrstu usluge jer bi to zauzimalo previše prostora i kapaciteta te bi bilo iznimno kompleksno za održavanje. Upravo iz tih razloga se krenulo u razvijanje mreže koja de preko jedne infrastrukture omogućiti prijenos svih vrsta aplikacija.

Kada govorimo o aplikacijama, možemo ih podijeliti na tri vrste; podatkovne aplikacije, glasovne aplikacije i video aplikacije. Svaka od ovih aplikacija ima različite zahtjeve za kvalitetom usluge, odnosno za različitim performansama mreže. Kvaliteta usluge može se opisati kao razina zadovoljstva korisnika s isporučenom uslugom, a sadrži nekoliko parametara prema kojima se određuje sama kvaliteta, kao što su kašnjenje, kolebanje kašnjenja, gubitak paketa te širina prijenosnog pojasa. Svaka od aplikacija ima različite zahtjeve za kvalitetom usluge, a da bi se ona ostvarila kvaliteta usluge ima vlastite mehanizme koji to omogućavaju.

Osim različitih mehanizama, razvile su se i metode mjerenja kvalitete usluge koje se dijele na subjektivne i objektivne. Subjektivna metoda predstavlja subjektivnu razinu zadovoljstva korisnika, dok se objektivnom metodom određuje fizičko stanje u mreži.

Video aplikacije predstavljaju najveći izazov za višeuslužne mreže budući da se najbrže razvijaju. Uz video aplikacije, glasovne aplikacije također predstavljaju bitnu značajku pri upravljanju i dizajniranju mreža jer uz video aplikacije imaju najveće zahtjeve za kvalitetom usluge, a osim toga svakodnevno se povećava i broj korisnika koji se s njima služe. Za razliku od njih, podatkovne aplikacije su najjednostavnije i polako zastarijevaju te predstavljaju najmanji izazov u upravljanju višeuslužnim mrežama.

Internet je jedan od najkompleksnijih sustava današnjice koji je vrlo težak za upravljanje i održavanje. Iz tog razloga razvijaju se različiti mehanizmi i metode za unaprjeđenje ovakve mreže. Svakako ima prostora za napredak kvalitete i mogućnosti, te se upravo prema tom cilju treba usmjeriti pažnja pri dizajniranju i upravljanju mreža. Također, nužno je smanjiti kompleksnost same mreže.

U ovom radu obrađeni su parametri kvalitete usluge te je mjerena kvaliteta usluge za tipične mrežne aplikacije. Za mjerenje parametra korištena su dva programska alata, Wireshark i PRTG. Uz pomoć Wiresharka promatrani su protokoli koji se upotrebljavaju kod podatkovnih, glasovnih ili video usluga. Za određene protokole određeno je kašnjenje, propusnost, varijacije kašnjenja i gubici te su neki od parametara prikazani uz pomoć grafova. Kod PRTG programskog alata korištena su dva senzora, jednosmjerni i kružni senzor koji su od velike važnosti za VoIP. U oba slučaja senzori šalju UDP pakete i analiziraju kvalitetu mrežnog prometa.

LITERATURA

1. http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=426645 (A Network Administrator's View of Multiservice Networks, Robert Wood, 9.12.2005.)
2. http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1292643 (Multi-services test targets converging network infrastructures, EE Times, 21.6.2004)
3. Bošnjak, I.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.
4. Bošnjak, I.: Telekomunikacijski promet II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
5. http://mreze.layer-x.com/s010100-0.html (Računalne mreže, Eldis Mujarić, 13.6.2016.)
6. https://sysportal.carnet.hr/node/352 (Računalne mreže - OSI referentni model, Toni Pralas, 16.1.2008.)
7. http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/routing-information-protocol-rip/13769-5.html (TCP/IP Overview, 10.8.2005)
8. http://www.ss-arboretumopeka-marcan.skole.hr/dokumenti?dm_document_id=61&dm_dnl=1 (WWW, 13.6.2016.)
9. http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2001/prijenos_govora.htm (Prijenos govora IP mrežama, Goran Grbić, Barbara Pavelić, 2001)
10. http://searchtelecom.techtarget.com/definition/video-on-demand (video on demand (VoD), Margaret Rouse, 2009)
11. Definitions of terms related to quality of service , ITU-T E.800 (13.6.2016.)
12. http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html#pgfId-46256 (Quality of Service Design Overview, 8.4.2014.)
13. http://www.svgroup.hr/SV-Group/services/sla/ (Ugovor o razini usluge, 13.6.2016.)
14. https://en.wikipedia.org/wiki/Bandwidth_(computing) (Bandwidth (computing), 16.6.2016)
15. http://compnetworking.about.com/od/speedtests/a/network_latency.htm (Introduction to Latency on Computer Networks, Bradley Mitchell, 4.4.2016.)
16. http://www.vtsnis.edu.rs/Predmeti_specijalisticke/multimedijalne_komunikacije/QoS.pdf (QoS, 13.6.2016.)

17. http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/18902-jitter-packet-voice.html (Understanding Jitter in Packet Voice Networks (Cisco IOS Platforms), 2.2.2006.)
18. https://en.wikipedia.org/wiki/Packet_loss (Packet loss, 31.5.2016.)
19. ITU: E.800: „Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability“, 1994.
20. http://searchcrm.techtarget.com/definition/Quality-of-Experience (Quality of Experience (QoE or QoX), Margaret Rouse, 2009.)
21. Guo, X., Pattinson, C.: Quality of Service Requirements for Multimedia Communications, Staffordshire University, 19th June 1997.
22. ETSI - TR 102 643: “Human Factors (HF);Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services,” 2010.
23. Le Callet, S. M. Patrick, Perkis, A.: “Qualinet white paper on definitions of quality of experience (2012),” Lausanne, Switzerland, 2013.
24. Gardlo, B., Ries, M., Hossfeld, T.: “Impact of screening technique on crowdsourcing qoe assessments,” in Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), 2012.
25. ITU-T - P.800.1: “Recommendation ITU-T P.800.1 - Mean Opinion Score (MOS) terminology ,” 2006.
26. ITU-T - G.1080: “Recommendation ITU-T G.1080 - Quality of experience requirements for IPTV services,” 2008.
27. Schatz, R., Hoßfeld, T., Janowski, L., Egger, S.: “From Packets to People: Quality of Experience as New Measurement Challenge,” 2013.
28. https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757120(v=ws.10).aspx (What Is QoS?, 28.3.2003)
29. Milan Bjelica, Zoran Petrović: “Nova shvatanja kvaliteta servisa u telekomunikacionim mrežama”,Telekomunikacije, 2005.
30. Hui-Lan Lu and Igor Faynberg, „An Architectural Framework for Support of Quality of Service in PacketNetworks “,IEEE Communications Magazine , June 2003
31. http://predmet.singidunum.ac.rs/pluginfile.php/2829/mod_folder/content/0/MM_08_QoS.pdf?forcedownload=1 (MULTIMEDIJA Kvalitet usluge – QoS, 13.6.2016.)
32. http://www.cs.columbia.edu/techreports/cucs-003-00.pdf (Internet Quality of Service: an Overview, Weibin Zhao, David Olshefski and Henning Schulzrinne) (13.6.2016.)
33. http://www2.ic.uff.br/~michael/kr1999/6-multimedia/6_07-intserv.htm(Integrated services, James F. Kurose and Leith W. Ross, 2000.)

34. http://web.stanford.edu/class/ee368c/Projects/project06/ (Transmitting Scalable Video over a DiffServ Network, Athina Markopoulou and Sangeun Han, 2001.)
35. http://docs.oracle.com/cd/E36784_01/html/E36826/ipqos-intro-10.html (Managing IP Quality of Service, 2014.)
36. https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Hodzic,KDI.pdf (MPLS TE mehanizmi u IP mrežama, Haris Hodžić) (13.6.2016.)
37. https://www.curvature.com/MPLS (MPLS Technologies, 2016)
38. Mean Opinion Score (MOS) terminology, ITU-T P.800.1 (13.6.2016.)
39. Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs, ITU-T P.380 (13.6.2016.)
40. http://www.snipview.com/q/Mean_opinion_score (Mean opinion score, 2009)
41. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, ITU-R BT.500-8 (13.6.2016.)
42. http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com09/docs/tutorial_opavc.pdf(Objective perceptual assessment of video quality: Full reference television, 2004.)
43. https://en.wikipedia.org/wiki/PEAQ (PEAQ, 27.3.2016.)
44. http://www.opticom.de/technology/pesq.php (PESQ, 13.6.2016.)
45. https://en.wikipedia.org/wiki/Peak_signal-to-noise_ratio (Peak signal-to-noise ratio, 3.6.2016.)
46. http://www.vernier.com/til/1014/ (What are Mean Squared Error and Root Mean Squared Error?, 15.10.2011.)
47. http://www.cns.nyu.edu/lcv/ssim/ (The SSIM Index for Image Quality Assessment, Zhou Wang, Alan C. Bovik, Hamid R. Sheikh and Eero P. Simoncelli, 2003.)
48. http://www.compression.ru/video/quality_measure/info_en.html (MSU Quality Measuerement Tool: Metrics information 13.6.2016.)
49. https://blogs.manageengine.com/network/netflowanalyzer/2009/03/05/netflow-based-application-detection-and-qos-implementation-2-of-4.html (NetFlow Based Application Detection and QoS Implementation 2 of 4, 5.3.2009.)
50. Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP), ITU-T G.729 (13.6.2016.)
51. One-way transmission time, ITU-T G.114 (13.6.2016.)
52. http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=606583 (VoIP:An In-Depth Analysis, Manoj Bhatia, Jonathan Davidson, Satish Kalidindi, Sudipto Mukherjee, James Peters, 2006.)

53. End-user multimedia QoS categories, ITU-T G.1010 (13.6.2016.)
54. http://www.cert.hr/node/15334 (PRTG Network Monitor 8.1.0.1607, 21.6.2016.)
55. https://www.paessler.com/manuals/prtg/qos_quality_of_service_sensor (PRTG Manual: QoS (Quality of Service) One Way Sensor, 21.6.2016.)
56. http://download-cdn.paessler.com/download/prtgmanual.pdf (PRTG Network Monitor, 21.6.2016.)
57. https://www.paessler.com/blog/2014/09/18/sensors-of-the-week/prtg-qos-quality-of-service-round-trip-sensor-monitor-network-connection (Sensor of the Week: QoS (Quality of Service) Round Trip Sensor, 21.6.2016.)

SAŽETAK

U radu je glavni zadatak bio analizirati kvalitetu usluge za pojedine aplikacije. U prvom djelu rada opisan je razvoj i arhitektura višeuslužnih mreža te Interneta. Zatim su opisane tri vrste usluga; podatkovne, video i audio usluge. Nakon toga definiran je pojam kvalitete usluge te parametri koje svaka od usluga mora zadovoljiti. Osim parametara, opisani su i mehanizmi za osiguranje kvalitete usluge u različitim tehnologijama. Za određivanje kvalitete usluge potrebne su neke od subjektivnih ili objektivnih metoda koje su opisane u radu. Također, za određivanje zadovoljstva korisnika, vrlo je važna iskustvena kvaliteta. Parametri kvaliteta usluge za tipične mrežne aplikacije mjereni su pomoću dva programska alata, Wireshark i PRTG.

Ključne riječi: kvaliteta usluge, Internet, vrste usluga, mehanizmi, subjektivna metoda, objektivna metoda, iskustvena kvaliteta, Wireshark, PRTG

ABSTRACT

The main task of this final paper was to analyze quality of service for certain applications. In the first part of this paper it is described development and architecture of multiservice networks and the Internet. Afterwards it is defined the notion of quality of service and parameters that each of the services must satisfy. In addition to parameters, it are described mechanisms for quality assurance services in different technologies. To determine the quality of service are required some of the subjective and objective methods described in the paper. Also, to determine customer satisfaction, it is very important experiential quality. The parameters of quality of service for the typical network application were measured using two software tools, Wireshark and PRTG.

Keywords: quality of service, Internet, types of services, mechanisms, subjective methods, objective method, experiential quality, Wireshark, PRTG

ŽIVOTOPIS

Sara Pavin rođena je 23.10.1994. godine u Osijeku. Od rođenja živi u Podravskoj Moslavini, gdje stječe osnovnoškolsko obrazovanje u OŠ Ante Starčevića. Godine 2009. upisuje Opću gimnaziju u Donjem Miholjcu te sve razrede prolazi s vrlo dobrim uspjehom. Nakon završetka srednje škole i polaganja mature upisuje Elektrotehnički fakultet, preddiplomski studij elektrotehnike, u Osijeku.