Analiza QoS zahtjeva pojedinih aplikacija u višeuslužnim mrežama

Grganić, Damir

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:316354

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-19**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Damir Grganić

Analiza QoS zahtjeva pojedinih aplikacija u višeuslužnim mrežama

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

Analiza QoS zahtjeva pojedinih aplikacija u višeuslužnim mrežama

Analysis of QoS Demands of Different Applications in Multiservice Networks

Mentor: dr. sc. Marko Matulin

Student: Damir Grganić 0135227153

Zagreb, rujan 2015.

SAŽETAK

U ovome radu napravljena je analiza zahtjeva za kvalitetom usluge pojedinih aplikacija u višeuslužnim mrežama. Detaljno je objašnjen koncept višeuslužnih mreža te njihov razvoj i razlike u odnosu na klasične mreže koje omogućavaju prijenos samo jedne vrste usluge. Kvaliteta usluge je definirana te su navedeni i objašnjeni parametri od kojih zavisi. Svaka od aplikacija ima svoje zahtjeve za kvalitetom usluge, a da bi se to omogućilo razvijeni su mehanizmi i metode mjerenja koje to omogućavaju. Aplikacije su detaljno analizirane kao i njihovi zahtjevi za kvalitetom usluge. Također, napravljena je usporedba zahtjeva aplikacija.

KLJUČNE RIJEČI: usluga; višeuslužne mreže; kvaliteta usluge; parametri kvalitete usluge; zahtjevi

SUMMARY

This thesis analyses the requirements for the quality of services of particular applications in multi-service networks (MSN). The concept of MSN network and its development is explained in detail and the differences are defined between the MSN and conventional networks that enable the transfer of only one type of service. Quality of Service (QoS) concept is defined and QoS parameters are explained for specific type of application. To ensure QoS parameters of specific application different mechanisms and methods are developed. This is also explained in the thesis. Lastly the QoS requirements of different applications are analyzed and compared.

KEYWORDS: service; multi-service networks; quality of service; parameters of quality of service, requirements

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Značajke višeuslužnih mreža 3
2.1 Značajke telekomunikacijskih mreža 3
2.2 Koncept višeuslužnih mreža 5
2.2.1 Razvoj i arhitektura višeuslužnih mreža 6
2.2.2 OSI model 8
2.2.3 TCP/IP model 11
3. Pregled dostupnih usluga 12
3.1 Podatkovne usluge 12
3.2 Glasovne usluge 13
3.2 Video usluge 14
4. Pojam kvalitete usluge 16
4.1 Parametri QoS-a 17
4.2 Osnovni mehanizmi QoS-a 18
4.2.1 IntServ mehanizmi 18
4.2.2 DiffServ mehanizmi 19
5. Metode mjerenja kvalitete usluge 21
5.1 Subjektivna metoda mjerenja kvalitete usluge 22
5.2 Objektivna metoda mjerenja kvalitete usluge 23
6. QoS zahtjevi različitih aplikacija 25
6.1 QoS zahtjevi podatkovnih aplikacija 26
6.2 QoS zahtjevi kod glasovnih aplikacija 27
6.2 QoS zahtjevi kod video aplikacija 29
7. Zaključak 32
Literatura 34
Popis kratica 36
Popis slika 38

1. Uvod

Višeuslužne mreže su telekomunikacijske mreže koje omogućavaju korištenje više od jedne aplikacije putem iste prijenosne infrastrukture. Za telekomunikacijsku mrežu se može reći da je to najkompleksniji tehnički sustav kojega je čovjek napravio. Glavno obilježje telekomunikacijskih mreža je svaki prijenos, odnosno slanje i primanje bilo koje vrste informacija, bilo to podatak, slika ili zvuk putem žičnih ili bežičnih elektromagnetskih sustava. Prema tome se i razlikuju telekomunikacije, odnosno prema vrsti informacije koje prenose i to na podatkovne komunikacije, audio komunikacije i video komunikacije.

Naročiti razvoj telekomunikacijskih mreža se temelji na razvoju mobilne komunikacijske mreže i korištenje jedne telekomunikacijske mreže za prijenos svih vrsta podataka. To ujedno predstavlja i jedan od najvećih problema kako putem jedne infrastrukture, koja se koristi za prijenos svih aplikacija, osigurati kvalitetu usluge za sve aplikacije. Upravo o tome će biti i riječ u ovome radu.

Naslov završnog rada je: **Analiza QoS zahtjeva pojedinih aplikacija u višeuslužnim mrežama**. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Značajke višeuslužnih mreža
3. Pregled dostupnih usluga
4. Pojam kvalitete usluge
5. Metode mjerenja kvalitete
6. QoS zahtjevi različitih aplikacija
7. Zaključak.

U drugom poglavlju ovoga rada će se reći nešto više o samom razvoju višeuslužnih mreža, odnosno povijesti razvoja te na koji način i iz kojih razloga su nastale. Osim toga, detaljno će se opisati i arhitektura ovih mreža, odnosno modeli na kojima su zasnovane.

U trećem poglavlju će biti riječ o mogućnostima višeuslužnih mreža. Kako se želi pomoću jedne mreže prenositi veći broj usluga i aplikacija, za razliku od standardnih

telekomunikacijskih mreža koje su imale mogućnosti prenositi samo jednu uslugu, te će se i reći o kojima je točno uslugama riječ. Zatim će svaka od usluga biti detaljnije opisana, te će se navesti njihove podjele i opisati na koji način svaka od tih usluga funkcionira. Shvaćanje toga je bitno iz razloga što svaka od njih ima različite zahtjeve za kvalitetom usluge.

Pojam kvalitete usluge će biti objašnjen u četvrtom poglavlju. Cjelokupni koncept osiguravanja kvalitete usluge u višeuslužnim mrežama ima važnu ulogu jer bez njega bi bilo moguće ostvariti očekivanja korisnika, niti bi rad mreža uopće bio moguć. Kvaliteta usluge definira zahtjeve aplikacija te navodi parametre koje svaka od usluga mora zadovoljiti kako bi njezina kvaliteta bila zadovoljavajuća za korisnika te će se svaki od parametara detaljno opisati. Da bi zahtjevi za kvalitetu usluge za svaki od parametara bili u dozvoljenim odstupanjima, uz kvalitetu usluge su razvijeni i mehanizmi koji to omogućavaju, o kojima će također biti riječ u ovome poglavlju.

Osim mehanizama, uz kvalitetu usluge se koriste i razne metode za mjerenje koje će biti opisane u petom poglavlju. Glavna podjela metoda je na subjektivne i objektivne. Subjektivna metoda predstavlja ocjenu kvalitete korisnika prema usluzi, za razliku od objektivne metode gdje se rezultati dobivaju na temelju mjerenja fizičkih osobina mreže. Svaka od tih metoda ima nekoliko testova i metoda mjerenja kvalitete, a neke će biti i detaljnije opisane.

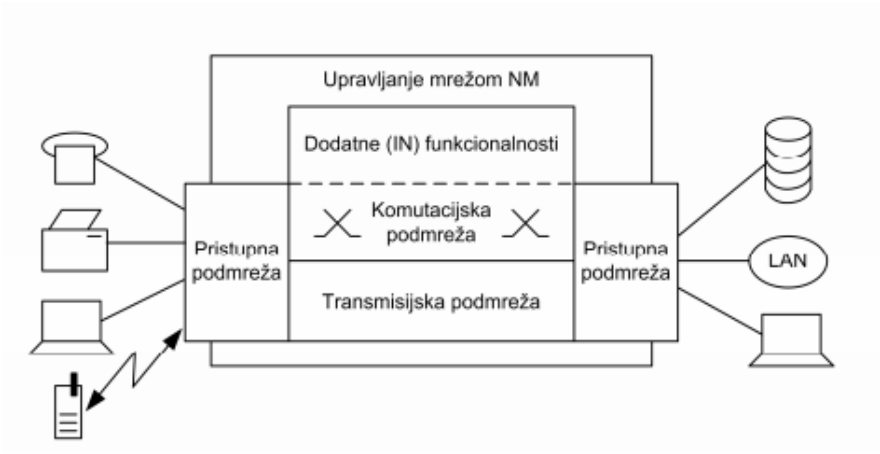
Nakon metoda mjerenja, u šestom poglavlju će se opisati i koje zahtjeve prema kvaliteti usluge ima svaka od aplikacija. Kod višeuslužnih mreža je najveći problem rasporediti kapacitete jer svaka od aplikacija ima različite zahtjeve. Upravo zbog toga je bitno shvaćanje parametara usluga kako bi se kapaciteti mreže mogli ravnomjerno rasporediti te kako bi mreža mogla normalno funkcionirati. Također će se reći kako i nezadovoljavanje nekog od parametara utječe na kvalitetu usluge te do kojih posljedica može doći zbog toga.

2. Značajke višeuslužnih mreža

Višeuslužne mreže (MSN-*Multi Service Network*) su mreže koje su dizajnirane kako bi prenosile promet više od jedne aplikacije za razliku od klasičnih mreža koje su bile dizajnirane samo za prijenos jedne vrste usluge. Najpoznatija takva mreža je telefonska mreža (PSTN-*Public Switched Telephone Network*) koja može prenositi samo jednu aplikaciju odnosno govor. Telefonska mreža ima i mogućnost prijenosa podataka ali se ona ne smatra višeuslužnom jer nije dizajnirana s tim ciljem. Glavni cilj višeuslužnh mreža je prijenos informacija na daljinu, bilo da se radilo o govoru, podatku ili videu.

2.1 Značajke telekomunikacijskih mreža

Za telekomunikacijsku mrežu se može reći da su to tehnički sustavi, kao što su centrale ili transmisijske tehnike odnosno kapaciteti ili resursi koji su dizajnirani i izgrađeni prema temeljnom zahtjevu da uspješno poslužuju promet na određenom području. Može se reći da je glavni zadatak bilo koje telekomunikacijske mreže odašiljanje, prijenos i prijem različitih oblika informacija kao što su govor, podaci, nepomična slika, video i tekst na daljinu putem elektromagnetskih valova kao nosioca informacija a prikaz telekomunikacijske mreže prema poopćenom modelu je vidljiv na slici 1.



Slika 1. Prikaz telekomunikacijske mreže prema poopćenom modelu, [1]

Iz slike je vidljivo da se svaka telekomunikacijska mreža sastoji od nekoliko glavnih dijelova odnosno podmreža. Pristupna podmreža omogućava povezivanje korisnika na jezgrenu mrežu pomoću koje pristupaju raznim uslugama. Sastoji se od lokalnih petlji odnosno pretplatničkih linija (*subscriber line*) te od pridružene mrežne opreme, a lokalne petlje služe kako bi se povezale lokacije krajnjih korisnika usluge s lokalnim centralama. Korisnici se na svaku mrežu povezuju putem svojih pretplatničkih linija odnosno terminalnih uređaja žično ili bežično. Žični način spajanja je stariji način kod kojega su terminalni uređaji spojeni na lokalnu centralu s pomoću bakrenih parica ili pomoću optičkih kabela, a kod bežične mreže korisnici su spojeni na centralu putem radiovalova koji omogućavaju mobilnost korisnika.

Transmisijska podmreža predstavlja spojne vodove koji služe za povezivanje čvorišta. Čvorišta telekomunikacijske mreže su komutacijski sustavi odnosno centrale koji obavljaju funkcije komutiranja, povezivanja, usmjeravanja prometa i sl. Čvorišta se povezuju pomoću raznih medija od kojih su najčešći bakrena parica, svjetlovodi i radiovalovi kao i odgovarajuća elektronička oprema. Može se reći da transmisijska podmreža predstavlja način prijenosa informacija između čvorišta.

Svaka informacija se prenosi „utisnuta“ u signal koji može biti svjetlosni ili elektromagnetski val. Postupak „utiskivanja“ informacija u signal se naziva modulacija, odnosno modulacija je tehnika koja omogućava prijenos informacija promjenom signala nosioca. Prema načinu promjene signala nosioca modulacija se dijeli na amplitudnu, faznu i frekvencijsku.

Komutacijska podmreža predstavlja čvorišta telekomunikacijske mreže pomoću kojih se obavlja komutiranje. Komutiranje predstavlja uspostavljanje veze između izvorišta i odredišta odnosno dva korisnika kako bi oni mogli razmjenjivati razne informacije. ITU-T (*International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector*) definira komutiranje kao: uspostavljanje individualne veze, na zahtjev, od željenog ulaza do željenog izlaza dokle god to zahtjeva prijenos informacija. Postoje dva osnovna načina komutiranja i to komutacija kanala i komutacija paketa, [1].

Prijenos podataka koji se obavlja pomoću komutacije kanala zasniva se na principu zauzimanja cjelovitog komunikacijskog kanala s jednoga kraja na drugi kraj mreže te se ponajviše koristi u telefonskim mrežama za prijenos govora. Nakon što se zauzme kanal odnosno njegov kapacitet, šalju se podaci od izvorišta do odredišta tim kanalom. Konekcija traje sve dok se svi podaci ne prenesu odnosno dok se ne prekine konekcija. Glavna osobina ovakvoga načina prijenosa podataka je zauzimanje cijeloga kapaciteta pojedinoga kanala bez obzira je li to potrebno. Sve dok je kanal zauzet podaci se mogu razmjenjivati samo između čvorova koji su rezervirali taj kanal. Prednost ovakvoga načina prijenosa podataka je osiguravanje QoS (*Quality of Service*) ali zbog neiskorištenost kapaciteta kanala, koje u današnje vrijeme stvara veliki problem zbog kompleksnosti mreža te količine podataka koji se prenose telekomunikacijskim mrežama, ovaj način prijenosa se sve manje koristi.

Za razliku od komutacije kanala komutacija paketa je način prijenosa informacija gdje se svaka informacija dijeli na više dijelova koji se nazivaju paketi te se zatim prenose od izvora preko čvorova sve do odredišta gdje se ti dijelovi sastavljaju u informaciju kakva je bila prije slanja. Svakome paketu se prije slanja dodjeljuje adresa u obliku zaglavlja te zaštita i na takav način se prenosi kroz mrežu. Kod ovakvog načina slanja podataka ne uspostavlja se fizička konekcija od kraja do kraja nego se pojedini paket šalje od čvora do čvora u „skokovima“. U ovom slučaju čvorovi služe za skladištenje odnosno memoriranje paketa, obrađivanje paketa (provjeravanje pogreške, rutiranje i dr.) i daljnje usmjeravanje paketa prema odredištu a odluku o usmjeravanju donosi prema informacijama koje su prikupljene od susjednih čvorova. Najveći predstavnik ovakvoga načina prijenosa podataka je svakako Internet mreža. Komutacija paketa može biti konekcijski i bezkonekcijski orijentirana.

2.2 Koncept višeuslužnih mreža

Višeuslužne mreže su mreže koje pružaju mogućnost prijenosa više vrsta aplikacija odnosno usluga preko iste fizičke infrastrukture. Osim što višeuslužne mreže imaju mogućnosti prijenosa više vrsta prometa preko iste infrastrukture, u sebi sadrže ugrađene mehanizme koji osiguravaju zahtijevanu kvalitetu usluge. Razvojem telekomunikacija povećavala se i količina prometa koja se razmjenjivala između korisnika. U prošlosti su telekomunikacije služile za prijenos informacija samo s pomoću govora, dok se u novije

vrijeme u telekomunikacijskim mrežama informacije prenose i u drugim oblicima osim govornih, odnosno s drugim uslugama. Takav način u kojemu je svaka vrsta usluge imala svoju vlastitu infrastrukturu za prijenos podataka generirala je velike troškove kao i probleme upravljanja za svaku od tih mreža zasebno. Svaka od tih mreža je bila prvenstveno namijenjena prijenosu jedne vrste usluga te je zbog toga imala male mogućnosti modifikacije za istodobni prijenos drugih vrsta. Bilo kakva preinaka takve mreže zahtijevala je teško izvedive prilagodbe te se morao smisliti novi način razmjene informacija putem zajedničke infrastrukture.

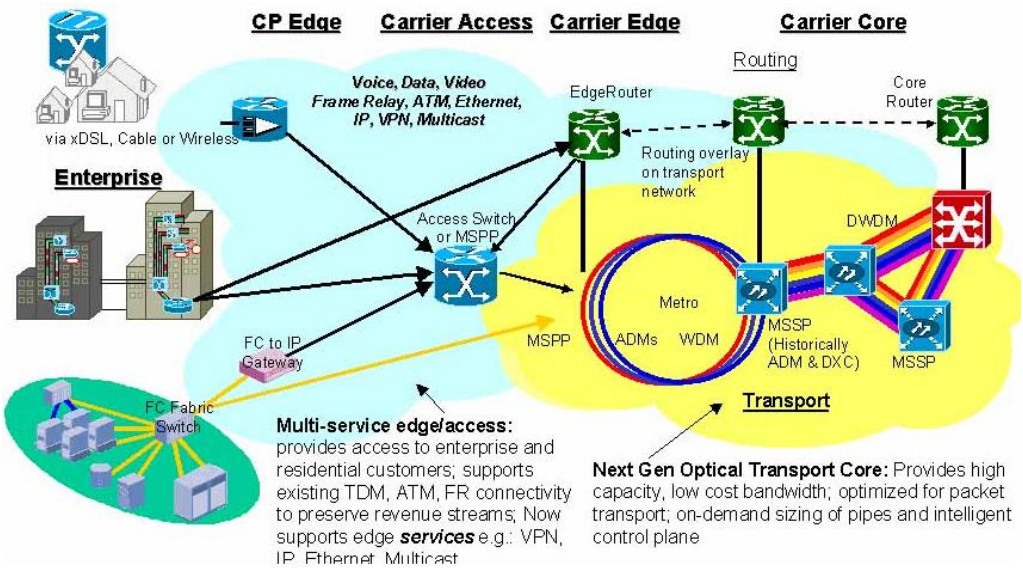
2.2.1 Razvoj i arhitektura višeuslužnih mreža

Početkom 80-tih godina prošloga stoljeća ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) forum i ITU-T su donijeli niz preporuka s ciljem poboljšanja telekomunikacijske mreže te uklanjanju nedostataka. Rješenja su se bazirala na optici a nova mreža je nazvana ISDN (*Integrated Services for Digital Network*). Nova mreža je trebala donijeti mogućnosti interoperabilnosti više simultanih usluga poput digitalnog prijenosa govora u klasičnoj telefonskoj mreži odnosno PSTN-u. Zbog novoga načina rada mreže potrebno je bilo donijeti i nove ATM standarde za komutaciju, transmisiju i multipleksiranje.

Nakon donošenja standarda krenulo se s implementacijom ATM jezgrene mreže na kojoj je bio moguć prijenos govornih usluga ali i prijenos podataka. Mreža je od samih početaka 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 je u sebi imao ugrađene QoS mehanizme no nije bio zamišljen za prijenos IP (*Internet Protocol*) *datagrama* ali se s vremenom 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 te se sve više seli u jezgrenu mrežu, [2].

U početku telekomunikacijskih mreža arhitektura se isključivo temeljila na fizičkoj odnosno električnoj razini mrežne usluge osim u nekim trenucima kao što je uspostavljanje i raskidanje veze u klasičnoj telefonskoj mreži odnosno PSTN-u. S razvojem višeuslužnih mreža koje su se temeljile na komutaciji paketa, razvijala se i drugačija arhitektura jer je bilo nužno proizvesti drugačiji pristup telekomunikacijskim mrežama koje bi zadovoljile kriterije novijih mreža, a prikaz takvog pristupa je vidljiv na slici 2 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.



Slika 2. Arhitektura višeuslužnih mreža, [3]

S razvojem nove arhitekture se počelo sedamdesetih godina prošloga stoljeća kada se 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. Tada je ISO (*International Organization for Standardization*) 1977. godine pokrenula razvoj referentnog modela za povezivanje otvorenih sustava kojega su nazvali OSI 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, [4].

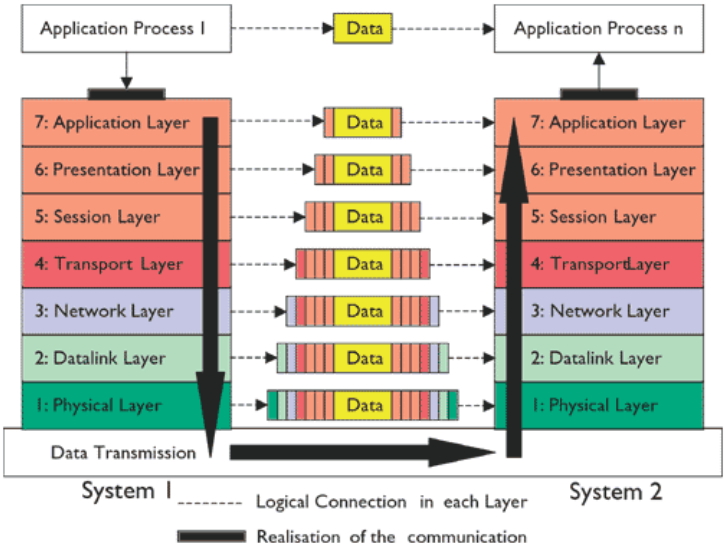
2.2.2 OSI model

OSI model 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. 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, [5].

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 slojeva ima definirano sučelje prema sloju koji je neposredno iznad i ispod njega te mogu komunicirati samo s njima. S takvim ustrojavanjem protokoli određenog sloja su neovisni od ostalih slojeva. Prva tri sloja odnosno „niži“ slojevi (fizički, podatkovni i mrežni) koji su mrežno orijentirani brinu o prijenosu podataka kroz telekomunikacijsku mrežu pomoću koje se povezuju dva sustava. Transportni sloj služi kao među sloj između nižih i viših slojeva a „viši“ odnosno zadnja tri sloja su aplikacijsko ovisni i sadrže protokole koji omogućavaju interakciju aplikacijskih procesa krajnjih korisnika. Prikaz OSI modela, kao i način komunikacije s drugim sustavom je vidljiv na slici 3.



Slika 3. OSI model, [6]

Fizički sloj je definiran fizičkim medijem koji služi za prijenos električnih, svjetlosnih ili radio signala kroz mrežu. 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 je zadužen da podatke koji su nastali enkapsulacijom pošalje do fizičkog sloja. Osim toga, na ovom sloju se obavlja kontrola greške, odnosno osiguravanje detekcije i korekcije greške te se provjerava integritet na odredištu prispjelog paketa.

Mrežni sloj ima za zadatak odrediti najbolji put prijenosa podataka između dva računala u mreži na način da upravlja s adresiranjem paketa odnosno prevođenjem logičkih adresa (IP adresa) u fizičke odnosno MAC (*Media Access Control*) adrese te osiguravanjem putanje paketa kroz mrežu. Ukoliko je to potrebno, mrežni sloj ima i mogućnosti segmentiranja IP paketa u manje segmente ako to zahtjeva raspoloživi kapacitet mreže.

Transportni sloj omogućava komunikaciju između dva računala prilikom razmjene paketa na način da se svaki paket numerira i šalje na odredište. Uz to, transportni sloj segmentira i spaja podatke u jednu cjelinu te služi kao rezervna provjera kako bi se osiguralo da svi podaci budu primljeni te otkriva i ispravlja pogreške.

Sloj sesije omogućava komunikaciju između aplikacija koje se izvršavaju na računalima u mreži, odnosno uspostavlja, prekida i upravlja vezama između aplikacija.

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. Sloj ne pruža usluge krajnjem korisniku nego korisnik mora zatražiti aplikaciju odnosno program da bi se prijenos podataka izvršio, [5].

U radu sa slojnim modelom svaki sloj se promatra u odnosu na sloj iznad i sloj ispod njega. Svaki sloj u modelu može komunicirati samo sa susjednim a komunikacija s ostalim slojevima se obavlja preko posredničkih slojeva. OSI model također opisuje i način komunikacije između sustava odnosno 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.

Enkapsulacija počinje u transportnom sloju gdje se podaci prvo enkapsuliraju te nose naziv segment. Nakon toga segment se spušta do mrežnog sloja gdje dobiva zaglavlje tog sloja te zajedno s podacima čini paket. U podatkovnom sloju paket također dobiva zaglavlje te zajedno s njime čine okvir te definira način transporta kroz mrežno sučelje, gdje se u fizičkom sloju podaci konvertiraju u oblik koji je pogodan za prijenos zavisno o prijenosnom mediju. Kada stignu na odredište, podaci se de-enkapsuliraju na način da se prosljeđuju svakom sloju te im se uklanjaju zaglavlja toga sloja kako bi dobili oblik podataka u kojem su poslani, [5].

OSI model također 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. Podjelom na slojeve omogućeno je da se ubrza razvoj protokola za određeni sloj neovisno o drugim slojevima. Osim OSI modela postoji i svojevrsna dopuna odnosno modeli koji služe kao orijentacija u razvoju mrežnih protokola. Veliki broj protokola izgrađen je prema TCP/IP modelu, [7].

2.2.3 TCP/IP model

TCP/IP model je dobio 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. Na temelju TCP/IP modela se temelji protokolarni složaj Interneta, za kojega se može reći da je globalna mreža međusobno povezanih mreža, odnosno podmreža koja služi za povezivanje raznih aplikacija i usluga putem terminalnih uređaja korisnika.

TCP protokol je protokol transportnog sloja čija je glavna zadaća sigurna i pouzdana dostava paketa od izvora do odredišta. Ovaj protokol je konekcijski orijentiran što znači da uspostavlja logičku vezu između aplikacija prije slanja podataka. 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. Zbog toga se UDP koristi za aplikacije koje ne toleriraju kašnjenje kao što je *video streaming* ali imaju toleranciju na određeni gubitak paketa, za razliku od TCP protokola koji se koristi ponajviše za podatkovne aplikacije koje zahtijevaju točnost i sigurnu dostavu podataka.

IP protokol je protokol koji služi za nepouzdanu dostavu IP *datagrama* od izvorišta do odredišta kroz mrežu odnosno Internet. Izvorište i odredište se ne moraju nalaziti u istim mrežama te zbog toga put dostave može prolaziti kroz više vrsta mreža. Samim time dostava *datagrama* samo pomoću IP protokola nije izvediva te zbog toga najčešće koristi TCP protokol za sigurnu dostavu paketa. Glavna zadaća IP protokola je adresiranje i usmjeravanje *datagrama* koji se prenose mrežom. IP protokol ne vodi računa o tome je li paket stigao na odredište, koliko je puta stigao ili je stigao pravilnim redoslijedom nego to prepušta višim slojevima. Osim ovih zadaća, IP protokol ima i mogućnost fragmentiranja podataka kao i prijavu greške ukoliko do nje dođe, [8].

3. Pregled dostupnih usluga

Internet donosi razne mogućnosti korisnicima te omogućuje razne načine komunikacije. Nastao je kao spoj visoke znanosti i vojnih istraživanja šezdesetih godina 20. st. kao produkt vojnih potreba. Nakon toga glavni cilj je bio stvaranje mreže koja se sastojala od više sličnih mreža. Upravo se današnji izgled Interneta temelji na tradiciji masovnoga umrežavanja. U početku je bio namijenjen samo za slanje poruka između računala, no nakon implementacije TCP/IP protokola u većinu računala, omogućeni su i drugi načini komunikacije. Glavni korak u daljnjem razvoju Interneta je pojava World Wide Web-a, programa za pretraživanje i uređivanje koji pretvara tekst, slike i druge izvore u stranice hiperteksta. Tom programu su dodane grafičke mogućnosti što je omogućilo slanje i primanje slika putem Interneta, [9].

Danas se Internet može promatrati kao višeuslužna mreža koja u sebi sadrži niz usluga koji su dostupni korisnicima jer je dizajnirana tako da prenosi promet više od jedne vrste aplikacije. Upravo je zbog toga Internet različit od klasičnih mreža koje su dizajnirane samo za prijenos jedne usluge, kao što je npr. telefonska mreža. Višeuslužne mreže mogu prenositi više vrsti aplikacija, odnosno više vrsti usluga pa je glavna podjela prometa 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. U samom početku usluge su bile fokusirane na prednosti umrežavanja računala koje su služile za razmjenu poruka te su zbog toga prvotno razvijene aplikacije za prijenos podataka te elektroničku poštu.

Prijenos podataka omogućuje korisnicima razmjenu datoteka pomoću kojih se dijele memorijski resursi, odnosno pohranjuje ih se, pregledava te prenose ovisno o potrebama korisnika. Za prijenos datoteka je osmišljen i protokol koji se naziva FTP (*File Transfer Protocol*) te se nalazi u aplikacijskom sloju TCP/IP modela.

Elektronička pošta je usluga prijenosa poruka koja prvenstveno omogućava prijenos tekstualnih poruka između korisnika. Osim što korisnik može poslati tekstualnu poruku ima i mogućnosti slanja slika ili nekog dokumenta odnosno prilog.

Usluga pretraživanja informacija ili WWW omogućuje korisniku pretragu raznovrsnim informacijama i podacima u obliku teksta, slike ili video odnosno audio formatu. Svi podaci se nalaze pohranjeni na mrežu te im se može pristupiti u svakom trenutku i od više korisnika istovremeno. Osim što korisnik pretražuje razne informacije, ima i mogućnosti objavljivanja istih.

3.2 Glasovne usluge

Za glasovne usluge se ponajviše koristi javna telefonska mreža, odnosno PSTN, koja se zasniva na komutaciji kanala. S razvojem višeuslužnih mreža, razvijala se i tehnologija koja omogućava prijenos govora putem tih istih mreža. Takva tehnologija se naziva 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. Može se zaključiti da je IP telefonija moguća na svima mrežama koje prenose podatke pomoću komutacije paketa i koje koriste taj protokol. Najbolji primjer takve mreže je svakako Internet. Moguć je i prijenos govora preko intraneta i LAN-a. Prijenos govora u odnosu na komutaciju kanala i ovu uslugu su velike. Kod komutacije kanala se za vrijeme prijenosa govora zauzima cijeli jedan kanal, odnosno čitav njegov kapacitet, za vrijeme cijeloga trajanja razgovora koji se koristi i za vrijeme tišine kada se ne prenose informacije. Kako je na takav način kapacitet kanala neiskorišten jer se njime ne mogu prenositi druge informacije osim razgovora između dva korisnika, većinu toga razgovora govornik šuti te se na taj način dodatno smanjuje iskorištenost kapaciteta kanala. U slučaju IP telefonije se trenutci tišine odnosno slušanja ili stanki između riječi ne prenose te se zbog toga značajno dobija na kapacitetu kanala po kojemu putuju i druge informacije osim između dva sugovornika koji pričaju.

Za VoIP se može reći da je to ustvari IP telefonija u užem smislu riječi, odnosno odnosi se na onaj dio IP telefonije koji putem Interneta prenosi glas od pozivatelja do slušatelja. Sama IP telefonija nije nužno samo prijenos glasa putem Interneta nego ima i

veće mogućnosti, odnosno prijenos i slike i glasa istovremeno preko IP komunikacijskih kanala. VoIP je tehnologija budućnosti jer ostvaruje sve tehničke preduvjete za razvijanje novih rješenja, pogotovo poslovnih jer daje velike financijske uštede. Također VoIP daje temelje za daljinu nadogradnju novih naprednih usluga.

Princip prijenosa govora u IP telefoniji je taj da se govor u IP telefonima ili govornim pristupnicima i na granici PSTN i IP mreža digitalizira, komprimira te se zatim pakira u IP pakete koji se prenose dalje preko IP mreže zajedno sa ostalim IP prometom. U VoIP rješenjima odnosno algoritmima kodiranja postoje načini za prepoznavanje kada govornik ne priča odnosno kada se ne prenose informacije. Trenuci tišine se prepoznaju kada razina jačine govora padne ispod određene granice te se na taj način potiskuje tišina, odnosno ne prenose se informacije te se ne zauzimaju kapaciteti prijenosnih puteva, [10].

3.2 Video usluge

Video usluge su usluge koje služe za prijenos pokretnih slika i zvuka odnosno videa. 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 je interaktivna tv tehnologija koja omogućuje gledanje i preuzimanje tv sadržaja te kasnije pregledavanje istog. Osim toga, korisnik sam pretražuje i bira sadržaj koji želi gledati. Danas brojni davatelji usluga imaju i između ostalih i ovu uslugu koju korisnici sve više koriste. Osim što se koristi u privatne svrhe, ova usluga se koristi i u obrazovnim institucijama te može poboljšati prezentacije u videokonferencijskom okruženju, [11].

Prijenos videa strujanjem je preuzimanje nekog video sadržaja s mreže te njegovo izravno prikazivanje ("*stream*" znači tok, vodena struja, i slično). Kod ove usluge, sadržaj koji korisnik želi gledati, pristiže na njegovo računalo ili drugi terminalni uređaj te se odmah i prikazuje i ponajviše se koristi kod izravnog prijenosa događaja koji se upravo odvijaju. Princip prijenosa videa strujanjem je sličan videu na zahtjev osim što se kod prijenosa videa strujanjem prikazuju događaji koji se upravo odvijaju za razliku od videa na zahtjev gdje korisnik sam bira kada i koji će sadržaj gledati.

Videotelefonija i videokonferencija su usluge koje omogućavaju da udaljeni korisnici, koji koriste takvu uslugu, vide i čuju jedni druge putem videa. 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 biti veći broj takvih osoba. Kod ovih usluga svaki korisnik se snima te se snimke šalju ostalim sudionicima. Sudionik može biti pojedinac, a može biti i skupina ljudi koje snima jedna kamera te se najčešće koriste u poslovne svrhe.

Uz govorne i podatkovne usluge, video usluge također doživljavaju svoj rast i razvoj. Industrija video sadržaja prolazi kroz velike transformacije zbog velikog rasta i dostupnosti Internet usluga, te video industrija raste paralelno s potrebama korisnika. Tehnologija koja omogućava stvaranje video sadržaja i mogućnost pristupa video sadržajima, te sektor video zabave također ubrzano raste te doživljava velike transformacije. Internet priključci na TV uređajima omogućavaju pružateljima usluga isporuku TV sadržaja i sličnih usluga preko IP protokola. Došlo je vrijeme kada televizija ulazi u online okruženje, pružajući krajnjem korisniku nove mogućnosti, vezano za razvoj interaktivnih i visoko personaliziranih usluga.

4. Pojam kvalitete usluge

U prošlosti je svaka usluga koristila zasebnu infrastrukturu no s razvojem višeuslužnih mreža, koje se temelje na paketskom prijenosu te omogućavaju implementaciju i prijenos raznih telekomunikacijskih multimedijskih, govornih, podatkovnih i video usluga preko samo jedne fizičke infrastrukture. Razvojem novih usluga pred današnje se telekomunikacije postavljaju zahtjevi za podrškom zahtijevane kvalitete usluge odnosno zadovoljavanje QoS (*Quality of Service*). QoS je prvotno uveden u doba analogne telefonije i označavao je vjerojatnost dostupnosti puta u telekomunikacijskoj mreži. Danas, kada je tehnologija napredovala i kada se gotovo više nigdje ne koristi analogni prijenos, 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“, [12].

Danas višeuslužne mreže predstavljaju komunikacijsku mrežu svake uspješne organizacije ali i jedan od najzastupljenijih načina komunikacije u privatnom životu. Iz razloga što takve mreže prenose mnoštvo aplikacija, uključujući i stvarnovremenski glas, videe visoke kvalitete te razne podatke koji su osjetljivi na kašnjenje, moraju pružiti predvidljive, mjerljive i a ponekad i garantirati prijenos aplikacija upravljanjem parametara mreže. Prema tome, QoS tehnologija se odnosi na skup alata i tehnika za upravljanje mrežnim resursima. Cilj QoS-a je da se svi podaci dostave korisniku uz zadovoljavajuću kvalitetu bez kašnjenja. To je omogućeno jer se različite usluge tretiraju na različite načine. Glasovnim ili video uslugama se može dodijeliti prioritet pri prolasku kroz mrežu, odnosno osigurati sigurnu dostavu podataka koji zahtijevaju veliku točnost. Osim što osigurava zaštitu željenog prometa, QoS sprječava ulazak neželjenog prometa u mrežu kao što su razni virusi. Može se zaključiti da je QoS glavni element za uspješan rad višeuslužnih mreža, [13].

Davatelji usluga mogu svojim pretplatnicima garantirati određenu razinu QoS-a, koji se definira ugovorom o razini usluge koji se naziva SLA (*Service Level Agreement*) ugovor. To je ugovor između korisnika i mrežnog operatera gdje je definirano točno značenje parametara koji su razumljivi i korisniku i mrežnom operateru. Osim što definira parametre ovaj ugovor i definira što se događa u slučaju nepoštivanja odredbi ugovora, [14].

4.1 Parametri QoS-a

Kako različite usluge zahtijevaju različite mrežne kapacitete i različitu kvalitetu, svaka usluga ima različitu potrebu za mrežnim kapacitetima koji se očituju u gubitku paketa, širini prijenosnog pojasa, kašnjenju i kolebanju kašnjenja koji su ujedno i parametri QoS.

Gubitak paketa (*packet loss*) se događa za vrijeme prijenosa paketa od izvora do odredišta kroz mrežu, a uzroka tome može biti nekoliko. Paket može biti izgubljen ukoliko se dogodila pogreška u prijenosu te ga odredište ne prepoznaje i mora ga odbaciti. Jedan od razloga može biti i preveliko kašnjenje paketa zbog čega paketi budu odbačeni i prije nego što stignu na odredište. Osim toga, razlog gubitka paketa može biti i preveliko zagušenje na nekom dijelu mreže koje je najčešće uzrok punjenje međuspremnika tako da paketi koji pristižu moraju biti odbačeni.

Širina prijenosnog pojasa (*bandwith*) je maksimalna brzina prijenosa podataka koja se može ostvariti između dvije točke u mreži. Također predstavlja i minimalnu propusnost koju mreža mora zadovoljiti radi pružanja zadovoljavajuće kvalitete pojedine usluge.

Kašnjenje (*delay*) je vrijeme koje je potrebno paketu da stigne od izvora do odredišta. Postoje brojni razlozi koji utječu na kašnjenje, a mogu biti zbog propagacije, usmjeravanja u čvorovima, čekanja u međuspremnicima rutera, prijenosa na linku, paketizacije i depaketizacije, kodiranja i dekodiranja i sl. Neke od komponenata kašnjenja su fiksne, a neke su varijabilne jer ovise o trenutnom stanju mreže i koje je teško za predvidjeti.

Kolebanje kašnjenja (*jitter*) se definira kao razlika u dolaznim vremenima susjednih paketa iste sesije, odnosno njihovog kašnjenja. Razlog tome je najčešće različiti putevi koje paketi prolaze od izvora do odredišta. Osim toga, do kolebanja kašnjenja može doći i zbog različitog čekanja u međuspremnicima rutera.

4.2 Osnovni mehanizmi QoS-a

Pričajući o višeuslužnim mrežama prvenstveno se misli na Internet. Internet je mreža koja je prvotno dizajnirana da podrži tzv. *Best Effort* posluživanje. Karakteristike takvog načina su da se ne pravi nikakva razlika između usluga i korisnika što je dobro za elastični promet kao što je e-mail, web promet i prijenos datoteka i takve usluge nemaju velike zahtjeve za QoS. Osim takvih usluga prijenosa podataka, pojavile su se i usluge koje su mnogo naprednije ali i koje su osjetljivije na parametre QoS-a, kao što su videokonferencije, VoIP i video na zahtjev. Takve aplikacije imaju striktne zahtjeve koje su vezane uz parametre kvalitete, odnosno uz gubitak paketa, kašnjenje, kolebanje kašnjenja i širinu prijenosnog pojasa.

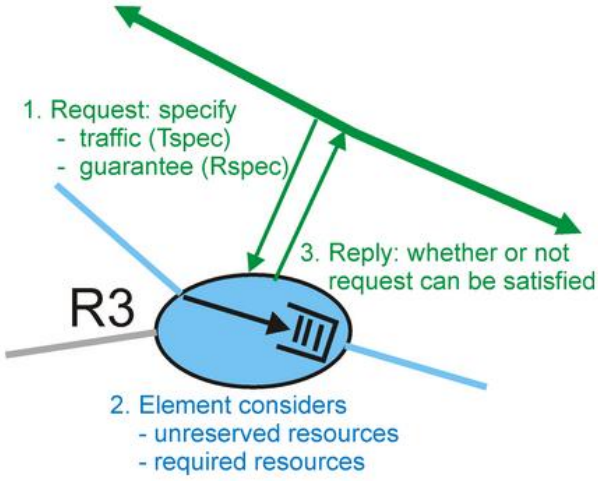
Kako bi parametri pojedinih usluga ostali u zadovoljavajućim omjerima QoS ima vlastite mehanizme koji to omogućavaju. Ti mehanizmi koriste razne funkcije kao što su rezervacija zahtijevanog prijenosnog pojasa, tablice rutiranja, identifikacije klase usluga, rutiranje s prioritetom itd. U osnovi postoje dva mehanizma koji mogu biti upotrijebljeni za osiguravanje dopuštenih ili ugovorenih vrijednosti parametara kvalitete usluge. Jedan se temelji na IntServ (*Integrated Services*) modelu, a drugi na DiffServ (*Differentiated Services*) modelu.

4.2.1 IntServ mehanizmi

IntServ mehanizmi su temeljeni na RSVP (*Resource Reservation Protocol*) protokolu koji se koristi za rezervaciju resursa za pojedini tok paketa ili za višestruke tokove paketa. Za osiguravanje resursa se koristi poruka pomoću koje se najavljuje zahtjev za rezervacijom resursa (*path message*) te poruka pomoću koje se rezervacija obavlja (*resv message*). Kada kontrola pristupa omogući toku ulazak u mrežu, dodjeljuje mu se zahtijevani kapacitet i osiguravaju mu se vrijednosti parametara kvalitete (slika 4).

Prema IntServ konceptu definiranu su dvije klase usluga:

- Jamčene usluge (*Guaranteed Service*)
- Usluge s kontroliranim opterećenjem (*Controlled Load Service*)



Slika 4. IntServ mehanizam, [15]

Jamčene usluge su namijenjene za vremenski osjetljive aplikacije i definiraju najveće dopušteno kašnjenje i minimalnu propusnost na mrežnim elementima od jednog do drugog kraja mreže. Usluga s kontroliranim opterećenjem je namijenjena za usluge koje su osjetljive na preopterećenje i omogućuje dijeljenje zajedničkog propusnog opsega između više prometnih tokova u uvjetima velikog opterećenja mreže.

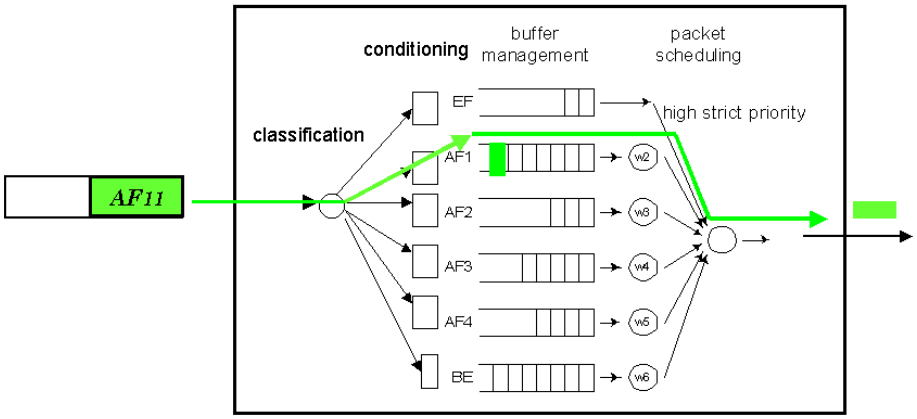
S ovim mehanizmom se postiže precizno definiranje zahtjeva te realizacija tražene razine QoS-a, ali unosi veliko dodatno opterećenje zbog čuvanja i ažuriranja stanja svakog toka u svim ruterima. Upravo zbog toga se primjena ovog mehanizma ne preporuča u velikim i skalabilnim mrežama, [16].

4.2.2 DiffServ mehanizmi

DiffServ modeli se temelje na pretpostavci da je Internet skup neovisnih mreža koje su upravljanje od jednog davatelja usluga (ISP-*Internet Service Provider*). Glavni cilj razvoja ovoga modela je osiguranje QoS-a za korisnike mreže. DiffServe arhitektura se sastoji od mnogo elemenata kao što su krajnji elementi i elementi jezgrene mreže. Temelji se na jednostavnom modelu gdje se promet, koji prolazi kroz DiffServ mrežu, klasificira u različite klase usluga te označuje na granicama mreže.

Nakon što se paketi klasificiraju na granici mreže, prosljeđuju se kroz čvorove mreže prema PHB (*Per-Hop Behaviors*). PHB se implementira u čvorove jezgrene mreže i definira

kako se tretira promet koji pripada određenoj skupini. Posluživanje paketa se temelji na informacijama koje se nalaze u DSCP (*Differentiated Service CodePoint*) polju. DSCP je polje IP zaglavlja čija lokacija ovisi o verziji IP protokola. Paketi koji imaju isti tretman odnosno istu DSCP vrijednost i putuju istim smjerom, formiraju skupinu prema kojoj se jednako ponaša (slika 5). Takav način ne zahtjeva mnogo resursa i obrade podataka kao što je to primjer kod IntServ arhitekture.



Slika 5. Klasifikacija prometa u DiffServ mehanizmima, [17]

DiffServ arhitektura definira dva tipa PHB:

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

PHB s ubrzanim prosljeđivanjem je posluživanje koje garantira vršni protok i koristi se da osigura kvalitetu od jednog do drugog kraja mreže s malim gubicima, kašnjenjem i kolebanjem kašnjenja. PHB sa sigurnim prosljeđivanjem pruža relativne garancije QoS-a jer je predviđeno postojanje više klasa unutar kojih se određuju prioriteti s ciljem sprečavanja zagušenja mreže, [18].

5. Metode mjerenja kvalitete usluge

Za svakog korisnika bilo koje usluge u višeuslužnim mrežama je najbitnija kvaliteta te isporučene usluge, bilo da se radi o podatkovnoj, glasovnoj ili video usluzi. Korisnik ne može raspoznati koliko se paketa izgubilo, koliko je kašnjenje te je li širina prijenosnog pojasa dovoljno velika ali može čuti ili vidjeti ukoliko dođe do većeg odstupanja od one razine koja nije primjetljiva ljudskom uhu ili oku. Takav način promatranja usluge s korisničke strane predstavlja subjektivan doživljaj kvalitete uslugom. Osim što je kvaliteta usluge bitna stavka za korisnika, također je bitna i za davatelja tih usluga. Za razliku od korisnika, davatelj usluga ima uvid u količinu izgubljenih paketa, kašnjenje te potrebnu širinu prijenosnog pojasa. Takav način promatranja predstavlja objektivan doživljaj kvalitete usluge. Razlog tomu je što davatelj usluga ima uvid u stanje mreže te posjeduje alate koji mu to omogućavaju. Prema tome se može zaključiti da postoje dvije metode za mjerenje kvalitete usluge.

Subjektivna metoda usluge se temelji na principu da se određenom broju korisnika pušta zvuk ili video određenu količinu vremena nakon koje korisnik daje ocjenu kvalitete s kojom je bio zadovoljan. Testiranja se obavljaju u raznim uvjetima, kako mreže, tako i u uvjetima u kojima se nalazi ispitanik, te se zatim rezultati svih ispitanika prikupljaju i obrađuju. Objektivna metoda kvalitete usluge se dobiva mjerenjem fizičkih osobina mreže, odnosno postotkom izgubljenih paketa, vremenima kašnjenja i kolebanja kašnjenja te potrebnoj propusnosti za određeni tip usluge. Objektivne metode se koriste i u svrhu napretka i dizajniranja mreža.

Kod podatkovnih usluga se ne koriste metode mjerenja kvalitete jer to nije potrebno. Kako je za podatkovne aplikacije najvažnija sigurnost, odnosno točnost informacija, pomoću mehanizama QoS-a je to i omogućeno te je na taj način i zadovoljena kvaliteta podatkovnih usluga.

5.1 Subjektivna metoda mjerenja kvalitete usluge

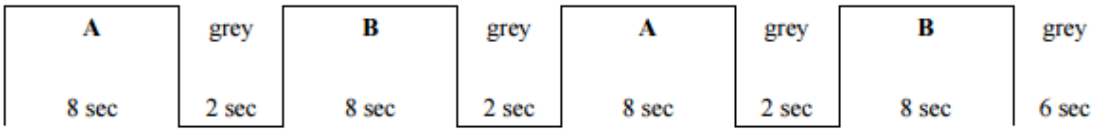
Subjektivna metoda predstavlja metodu čiji su rezultati temeljeni na subjektivnom osjećaju kvalitete ispitanika. Subjektivna metoda se zasniva na principu da se korisniku određeno vrijeme pušta zvuk ili slika u različitim uvjetima. Pod uvjetima se misli na stanje okoline u kojoj se ispitanik nalazi, ali i u različitim uvjetima u kojoj se nalazi mreža. Pod tim se želi ispitati i kako određene usluge djeluju na različite situacije, odnosno kakva im je kvaliteta pri različitim scenarijima koji se događaju u mreži.

Subjektivna metoda koja se koristi pri mjerenju kvalitete zvuka u višeuslužnim mrežama se naziva 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, [19]. Kod ove metode, subjekti se nalaze u odvojenim tzv. tihim sobama u blizini kontrolnog centra. Prema preporuci ITU-T P.830 sobe ne bi trebale biti manje od 20 $m^{3,}$ odjekom koji nije veći od 500 ms te količinom buke koja nije veća od 30 dB. Nakon što su smješteni u takve sobe, ispitanici se podvrgavaju pod nekoliko testova. U tim testovima se stavljaju u nekoliko situacija, u nekima su samo govornici, u nekima slušatelji, a u nekima međusobno komuniciraju u uvjetima koji su prepisani u toj preporuci. Nakon svakog testa korisnici zapisuju razinu kvalitete usluge u skalu koja sadrži brojeve od jedan do pet, gdje jedan predstavlja lošu uslugu, a pet odličnu (slika 6), [20].

MOS	Quality	Impairment
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible but not annoying
3	Fair	Slightly Annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very Annoying

Slika 6. Prikaz skale za određivanje kvalitete zvuka, [21]

Kod subjektivnih metoda koje se koriste za mjerenje kvalitete usluge, kod videa najpouzdanija metoda se pokazala DSCQS (*Double Stimulus Continuous Quality Scale*) metoda. Prema preporuci ITU-R BT.500-8 u kojoj su definirani uvjeti u kojima se ispitanici nalaze, definiran je i način testiranja. Ova metoda se sastoji od serije video prikaza u kojoj se prikazuju dvije verzije jednog videa i to verzija A i verzija B (slika 8). U tim isječcima može doći do nekih problema, odnosno slabe boje na videu, nedostatak detalja, nedovoljna oštrina i sl. koje zatim korisnik ocjenjuje na temelju svoje percepcije u skalu koja je podijeljena na pet jednakih dijelova, od lošega pa do odličnog, [22]. Osim ove metode, postoji još nekoliko metoda koje su definirane u preporuci ITU-T P.910.



Slika 7. Prikaz DSCQS metode, [23]

5.2 Objektivna metoda mjerenja kvalitete usluge

Kod objektivnih metoda se koriste razni programi i algoritmi koji određuju kvalitetu usluge. Kod ovih metoda se ne može vidjeti razina zadovoljstva korisnika, no mogu se vidjeti razlozi zbog kojih dolazi do lošije kvalitete. Upravo iz toga razloga se ove metode često koriste i u dizajniranju i upravljanju mreža jer se pomoću njih mogu izračunati gubici u mreži, koliko je kašnjenje, kolika treba biti propusnost ili koliko se paketa izgubilo na putu do odredišta.

Objektivna metoda za mjerenje kvalitete zvuka se naziva PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*). Prema ITU-T P.862 preporuci PESQ je algoritam koji ne obuhvaća cjelokupnu komunikaciju nego samo komunikaciju u jednom smjeru. Služi za mjerenje učinka distorzije i buke na kvalitetu govora. Učinci kao što su gubitak glasnoće, kašnjenje, jeka i ostali nisu sadržani u PESQ rezultatima. Upravo zbog toga je moguće imati velike PESQ rezultate, ali jako lošu kvalitetu veze. Danas je PESQ svjetski priznati standard te

ga za objektivno ispitivanje glasa koriste proizvođači telefona, dobavljače mrežne opreme te telekom operateri, [24].

Objektivne metode za mjerenje kvalitete usluge kod video aplikacija se zasnivaju na modelima koji su zasnivani na sposobnostima za procjenu subjektivne kvalitete usluge. Jedna od mogućnost je predviđanje točnosti, odnosno sposobnost predviđanja subjektivne kvalitete s niskim stupnjem greške, zatim predviđanje monotonosti, odnosno stupanj do kojeg se model predviđanja slaže s relativnim magnitudama od subjektivnih ocjena kvalitete i predviđanje konzistencije, odnosno stupanj do kojeg model održava predviđanja u rasponu ispitivanih video uzoraka, [23].

6. QoS zahtjevi različitih aplikacija

Poznato je da u višeuslužnim mrežama postoji niz aplikacija koje zahtijevaju različite performanse mreže. Svaka od tih aplikacija ima određene zahtjeve za kvalitetom usluge kako bi usluga bila zadovoljavajuća za korisnika. Neke od usluga zahtijevaju veliku propusnost mreže, neke mali postotak gubitka paketa a neke malo kašnjenje. Osim što su pojedine aplikacije osjetljivije na neke parametre, na neke mogu imati i veću toleranciju za razliku od ostalih.

Podatkovne aplikacije su orijentirane na točnost informacija koja pristiže korisniku te je za ovu uslugu najbitnije da svi podaci stignu na odredište. Samim time što je najvažnija sigurnost prispijeća podataka, odnosno paketa pomoću kojih se podaci prenose, ova usluga ima veću toleranciju na kašnjenje i propusnost jer kod ove usluge nije bitno da li će neki podatak zakasniti koju ms ili sekundu.

Za razliku od podatkovnih aplikacija, glasovne aplikacije (VoIP) imaju različite zahtjeve. Kod VoIP-a gubitak određenog broja paketa neće imati velik značaj na kvalitetu jer postoje načini pomoću kojih se izgubljeni paketi nadomještaju te na taj način ne utječe puno na samu kvalitete usluge ako su u prihvatljivim granicama. Kod ove usluge je bitno da kašnjenje nije veliko jer to znatno utječu na kvalitetu zvuka. Samim time i širina prijenosnog pojasa treba biti dovoljno velika.

Slične zahtjeve za kvalitetom usluge imaju i video aplikacije. One zahtijevaju veliku propusnost mreže jer se prenosi velika količina podataka u odnosu na ostale aplikacije. Ova usluga je također tolerantna na određeni postotak izgubljenih paketa, ali je važno da kašnjenje bude unutar dozvoljenih granica. Osim toga, kod video aplikacija postoji nekoliko različitih usluga koje služe za prijenos videa pa tako i one imaju različite zahtjeve za kvalitetom usluge, a zahtjevi za kvalitetom kod pojedinih aplikacija su vidljivi na slici 8.

Traffic type	Max Packet Loss	Max One-way Latency	Max Jitter	Guaranteed Priority Bandwidth per session
VOIP	1%	200ms	30ms	12 to 106 kbps*
Video-conferencing	1 percent	200 ms	30 ms	Size of session plus 20 percent
Streaming Video	2 percent	5 Seconds	N/A	Depends on encoding format and video stream rare
Data	Variable	Variable	Variable	Variable

Slika 8. Zahtjevi za kvalitetom usluge kod pojedinih aplikacija, [25]

6.1 QoS zahtjevi podatkovnih aplikacija

Podatkovne aplikacije su najstarije aplikacije u višeuslužnim mrežama te ih ima i najviše od svih. S time što ih ima najviše, postoje i različiti zahtjevi za kvalitetom usluge ovisno o aplikaciji. Neki od njih koriste TCP protokol, a neki UDP protokol, neki su osjetljiviji na kašnjenje dok većina nije, neki zahtijevaju visoku propusnost dok neki zahtijevaju veliku sigurnost pri prijenosu podataka. Općenito gledajući, podatkovne aplikacije, odnosno sami podaci za korisnike predstavljaju bitnu stavku u životu, bilo da se radi o privatnom životu ili poslovnom. Prema tome se može zaključiti da podaci koji se dostavljaju korisniku prvenstveno trebaju biti točni i pouzdani. Da bi se to osiguralo potrebno je ostvariti siguran način prijenosa podataka, odnosno sigurnu dostavu paketa na odredište.

Za ostvarenje pouzdanog prijenosa paketa neophodno je prije svega imati pouzdan sustav za otkrivanje grešaka. Takvi sustavi nisu nikad apsolutno pouzdani, ali današnji sustavi su dovoljno visoko pouzdani da omoguće uspješan rad računalnih mreža, od najmanjih (lokalnih) do najvećih (globalnih). Za ostvarenje pouzdanosti i mogućnosti retransmisije u mrežama se najčešće koristi TCP protokol koji ima mogućnosti otkrivanja grešaka te zatim ispravljanja na način da se izgubljeni paket ponovno pošalje na odredište te stigne potvrda o njegovom prispijeću. Dakle, da bi se moglo otklanjati greške, potrebno ih je najprije uspješno otkrivati.

Kod podatkovnih usluga odnosno kod prijenosa brojeva, tekstova i programa tolerancija na gubitke paketa je vrlo mala no ima veliku toleranciju na kašnjenje paketa kao i na kolebanje kašnjenja. Razlog tomu je što takvi podaci nisu uvijek potrebni trenutno niti će kašnjenje od nekoliko milisekundi ili sekundi bitnije utjecati na krajnji ishod. Ukoliko se i dogodi veliko kašnjenje paketa, te zbog toga bude odbačen, zahvaljujući TCP protokolu paket će biti ponovno poslan te neće utjecati na kvalitetu usluge jer se radi o relativno kratkom vremenu za podatkovne aplikacije. Prema tome niti propusnost nije toliko bitna kod ovih aplikacija, ali ona varira ovisno o usluzi i njezinoj namjeni. Neki od primjera takvih usluga su e-mail, web pretraživanje, internet bankarstvo ili prijenos podataka. Ukoliko se kod ovih aplikacija dogodi greška odnosno gubitak paketa to može imati velike posljedice, npr. kod internet bankarstva. Stoga je kod prijenosa ove vrste usluga pouzdanost najbitniji faktor te kvaliteta usluge ponajviše ovisi o tome.

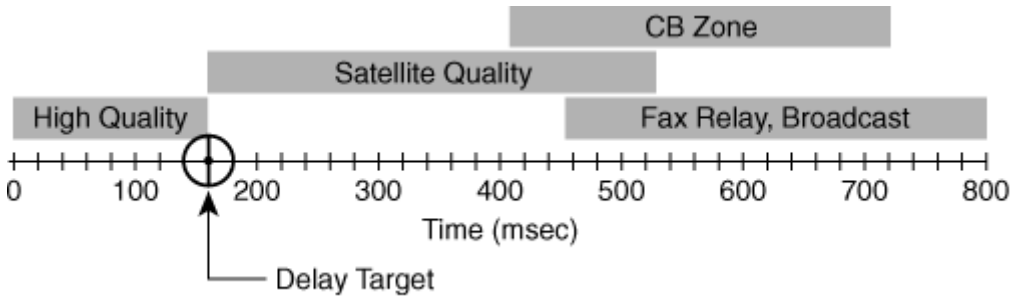
6.2 QoS zahtjevi kod glasovnih aplikacija

Najveći predstavnik glasovnih aplikacija u višeuslužnim mrežama je svakako VoIP. Za razliku od podatkovnih usluga, kod kojih je za zadovoljavanje kvalitete najvažnije osigurati sigurnu dostavu paketa, kod VoIP-a na kvalitetu usluge bitno utječu i ostali parametri, pogotovo kašnjenje. Samim time, i širina prijenosnog pojasa mora biti veća nego kod podatkovnih aplikacija.

U VoIP mrežama se koristi UDP protokol te je gubitak paketa čest zbog nemogućnosti retransmisije. Kod ove usluge gubitak paketa ne donosi samo probleme u komunikaciji nego može uzrokovati čak i prekid poziva. Ukoliko se dogodi gubitak većeg broja paketa to se manifestira kao „pucketanje“ u govornom toku. Također, ukoliko se paketi gube jedan za drugim u snopu audioefekt za korisnika je znatno lošiji nego kada se paketi gube jedan po jedan u određenim vremenskim razmacima. Gubljenje paketa u snopu rezultira nedostajanjem, odnosno gubljenjem većega segmenta govorne informacije ili izobličenjem što uzrokuje pogoršanje koje je znatno više uočljivo korisniku. Osim što je gubljenje većeg segmenta paketa uzrokuje izobličenjem te pakete je teže i prikriti odnosno zamijeniti. Gubitak paketa se reproducira i u lošijoj kvaliteti govora i nerazumljivosti te često i smanjenom jačinom. Gubljenje dijela riječi ili ponekih slova je također jedna od posljedica

gubitka paketa, [13]. Postoji nekoliko metoda prikrivanja gubitaka paketa u IP telefoniji a najčešći su ponavljanje zadnjega paketa koji je stigao na odredište ili se na mjesto izgubljenoga paketa umeta tišina ili šum. Prema ITU-T preporuci G.729 gubitak paketa u VoIP-u ne bi smio biti iznad 1% kako bi se izbjegle greške, [26].

Osim gubitka paketa, kašnjenje također može uzrokovati degradaciju kvalitete glasa jer se radi o stvarnovremenskoj aplikaciji koje su jako osjetljive na kašnjenje. Ukoliko je kašnjenje veće od 100 ms razgovori počinju biti teško razumljivi ili kao da dvije strane razgovaraju preko satelitske veze, a ako je kašnjenje veće od 200 ms kvaliteta usluge postaje neprihvatljiva. Upravo iz tog razloga, ITU-T u svojoj preporuci G.114 ograničava maksimalno kašnjenje na 300 ms između dva *gatewaya*, odnosno 150 ms u jednom smjeru, što je i vidljivo na slici 9. Za međunarodne pozive, kašnjenje do 300 ms je prihvatljivo, pogotovo ako se radi o satelitskom prijenosu, [27].



Slika 9. Dozvoljeno kašnjenje prema ITU-T, [28]

Osim kašnjenja, VoIP ne tolerira niti velike varijacije u kašnjenju. Razlike u vremenima dolazaka paketa na odredište se mogu manifestirati kratkim prekidima u komunikaciji. Da bi se to spriječilo dimenzioniraju se tzv. *dejitter* međuspremnici koji služe za uklanjanje kolebanja kašnjenja. Njegova je uloga da izgladi varijacije kašnjenja jer glas mora biti isporučivan konstantnom brzinom. Osim toga, ovi međuspremnici imaju i mogućnost da izvrše ponovni poredak paketa za one pakete koji su stigli van reda. Rade na način da zadržava dva do četiri paketa te uvode dodatno kašnjenje u mrežu od 20 ms do 80 ms zavisno o veličini paketa. Samo kolebanje kašnjenja ne bi trebalo biti veće od 60 ms kako bi se postigla zadovoljavajuća kvaliteta, [28].

Širina prijenosnog pojasa je također bitan faktor kod VoIP-a. Pomoću jednostavnih matematičkih metoda je lako izračunati potrebnu širinu za prijenos govora no problem je što je to potrebno odrediti za svaku uslugu u mreži. Ako se dodijeli premalo prijenosnog pojasa za prijenos govora, može doći do ozbiljnog gubitka kvalitete. Upravo iz toga razloga se govoru, kao i signalizaciji, u mreži dodjeljuje odgovarajući prioritet u odnosu na drugi promet. Da se takva potreba smanji koriste se posebni algoritmi koji komprimiraju govor u pakete, kao i mehanizam koji potiskuje tišinu.

6.2 QoS zahtjevi kod video aplikacija

Video zapisi se mogu prenositi mrežom na sličan način kao i prijenos govora samo što je u ovome slučaju potreban i prijenos pokretnih slika uz zvuk odnosno glas. Kao i VoIP, i prijenos video usluga ima svoje specifičnosti a jedna od najvažnijih je propusnost mreže odnosno njezinih dijelova kako ne bi došlo do zagušenja te gubitka paketa. Sadašnji a i nadolazeći videoizvori bitno utječu na dizajniranje i planiranje mreže koje nisu originalno razvijene za podržavanje video aplikacija. Brzine prijenosa, pod kojima se podrazumijeva brzina prijenosa kojom 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. Veličina zahtijevanoga kapaciteta u pojedinim trenucima će ovisiti o sadržajima koje korisnici gledaju. Te promjene mogu biti velike ukoliko se gleda prijenos sportske utakmice ili manji ako je prijenos čitanja vijesti za vrijeme dnevnika što predstavlja izazov u dizajniranju zahtijevanoga kapaciteta kada više korisnika istovremeno gleda isti sadržaj.

Video na zahtjev je sustav isporuke informacija od točke do točke i od točke prema više točaka. Važna značajka ovoga načina prijenosa videa je zahtijevanje kapaciteta za dvosmjerni prijenos da korisnicima bude omogućeno da odabiru željene sadržaje. Kod ovakvog načina prijenosa, širina prijenosnog kanala po kojima se šalju paketi može biti manja za razliku od videokonferencija i prijenos videa strujanjem. Razlog tomu je taj što ovaj način ima mogućnost prijenosa dijela filma, odnosno određenog broja paketa na računalo pa se tek onda može početi s njegovim prikazivanjem. Na taj način se na početku stvori određena zaliha paketa i 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. Najsigurniji način gledanja filma je taj, da se sav sadržaj filma kopira s mreže na računalo klijenta, a zatim počne s njegovim prikazivanjem. Obično nije potrebno odgađati početak prikazivanja filma toliko dugo. Upravo zbog ovih mogućnosti ovaj način prijenosa videa ima i najbolju kvalitetu jer ima vremena nadomjestiti izgubljene pakete kao i omogućiti svima da stignu na vrijeme te na taj način ostvare što bolju kvalitetu prikaza kao i mogućnosti odabiranja sadržaja za gledanje. Samim time, kod ove usluge, kašnjenje (koje može biti i do nekoliko sekundi), kolebanje kašnjenja kao i gubitak paketa nemaju prevelik utjecaj na kvalitetu.

Uz određeno kašnjenje u prikazu, i kod *streaminga* se može održavati određena zaliha sadržaja na terminalnom uređaju klijenta, ali ta zaliha je vrlo mala. Zato je za uspješan prijenos sadržaja metodom *streaming*, neophodno da veza ima zahtijevanu širinu prijenosnog pojasa koju taj prijenos iziskuje. Za prijenos videa strujanjem karakteristično je da se radi o dvosmjernoj aplikaciji gdje prometni tok s videosadržajem ide u jednom smjeru, a kontrolne informacije u drugom. Kada se prijenos videa strujanjem prenosi prema više točaka paketi se dupliciraju u mreži samo onda kada se prenose različitim putevima. Samim time povećana je i sigurnost dolaska paketa na odredište. Kod prijenosa videa strujanjem se koristi UDP protokol te ovaj način prijenosa nema mogućnosti retransmisije izgubljenih paketa, a posljedice izgubljenih paketa na kvalitetu slike mogu biti značajne i ne bi trebao biti veći od 1%. Osim gubitka paketa, kašnjenje također može bitno utjecati na kvalitetu videa te ne bi trebalo biti veće od 10 sekundi prema preporukama ITU-T T.1010, dok za kolebanje kašnjenja nema posebnih zahtjeva zato što postoji *buffer* u koji se spremaju paketi, [29].

Izrazito veliku propusnost veza obično iziskuju videotelefonija a pogotovo videokonferencija, koja omogućava da međusobno udaljeni učesnici takve konferencije izravno vide i čuju jedni druge. Kod takvog načina prijenosa potrebno je ostvariti prijenos video i zvučnih sadržaja od svakog učesnika konferencije do svih ostalih. S porastom broja učesnika, točnije broja kamera čije se snimke prenose, općenito raste količina sadržaja (paketa) koji se prenosi u toj komunikaciji. Kod takvog načina rada, izvor šalje jedan primjerak paketa podataka, bez obzira na broj primatelja toga paketa. Prijenosni sustav

odnosno usmjerivači prave kopije takvih paketa (koji su upućeni na neku adresu) i dostavlja po jednu kopiju svakog paketa u svaku fizičku mrežu u kojoj se nalazi neki domaćin koji je član dane *multicast* adrese, odnosno grupe, [13].

Ako 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 (smrzne). Kod ovakvog načina prijenosa često se događa gubitak paketa zbog prevelikoga zagušenja na usmjerivačima odnosno premale propusnosti. Za prijenos paketa u videokonferencijama se koristi UDP protokol jer je važnija brzina pristizanja paketa nego točnost pa ovaj sustav nema mogućnosti retransmisije paketa ali i ne bi imalo smisla. Rezultat toga je lošija reprodukcija videa i nedostajanje dijelova slike. Dozvoljeno kašnjenje, kao i gubitak paketa je prema preporukama ITU-T T.1010 isti kao i kod VoIP-a, odnosno kašnjenje u jednom smjeru ne bi trebalo biti veće od 150 ms, a gubitak paketa ne bi trebao biti veći od 1%, dok kolebanje kašnjenja nije definirano za ovu uslugu, [29].

7. Zaključak

Višeuslužne mreže su mreže koje omogućavaju prijenos više vrsta usluga preko jedne infrastrukture, a najveća takva mreža je svakako Internet. Današnji život bez Interneta je gotovo nezamisliv jer predstavlja bitnu ulogu u životu čovjeka, bilo da se radilo o poslovnom ili privatnom životu. Pomoću njega korisnici imaju razne mogućnosti te imaju mnoštvo različitih usluga i aplikacija s pomoću kojih se svakodnevno koriste. 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 će preko jedne infrastrukture omogućiti prijenos svih vrsta aplikacija.

Kada se govori o aplikacijama postoje tri glavne vrste koje se dijele na podatkovne aplikacije, glasovne aplikacije i video aplikacije. Svaka od ovih aplikacija ima različite zahtjeve za kvalitetom usluge, odnosno za različitim performansama mreže. Kvalitetu usluge se može opisati kao razinu zadovoljstva korisnika s isporučenom uslugom. 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 mehanizama, uz kvalitetu usluge su se razvile i metode mjerenja kvalitete koje se dijele na subjektivne i objektivne metode. Subjektivna metoda predstavlja subjektivnu razinu zadovoljstva korisnika s nekom od usluga, dok objektivna metoda služi za fizičko mjerenje stanja u mreži pomoću koje se upravljaju i dizajniraju višeuslužne mreže.

Svakako najveći izazov za višeuslužne mreže predstavljaju video aplikacije. Osim što se najbrže razvijaju, postoje tri vrste aplikacija od kojih svaka ima svoje zahtjeve za kvalitetom usluge. Uz video aplikacije, glasovne aplikacije također predstavljaju bitnu značajku pri upravljanju i dizajniranju mreža jer uz video aplikacije imaju najveće zahtjeve za kvalitetom usluge. Osim što imaju najveće zahtjeve, svakodnevno se povećava i broj korisnika koji se s njima služe. Za razliku od video i glasovnih aplikacija, podatkovne

aplikacije su najjednostavnije od svih i polako zastarijevaju te predstavljaju najmanji izazov u upravljanju višeuslužnim mrežama.

Višeuslužne mreže, odnosno Internet je jedan od najkompleksnijih sustava današnjice koji je iznimno težak za upravljanje i održavanje. Zbog toga su i razvijeni različiti mehanizmi i metode pomoću kojih se žele unaprijediti ovakve mreže. Prostora za napredak kvalitete i mogućnosti koje bi dodatno olakšale život korisnicima svakako ima, te pažnju pri dizajniranju i upravljanju mreža treba upravo usmjeriti prema tom cilju, kao i smanjivanju kompleksnosti same mreže.

Literatura

1.http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/1predavanje.pdf (2.6.2015.)

2. http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=426645 (2.6.2015.)

3. http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1292643 (2.9.2015.)

4. Bošnjak, I.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.

5. Bošnjak, I.: Telekomunikacijski promet II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.

6. https://offensivehacking.wordpress.com/2012/11/29/osi-reference-model/osi-model/ (25.6.2015.)

7. http://sistemac.carnet.hr/node/352 (2.6.2015.)

8. http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/routing-information-protocol-rip/13769-5.html (2.6.2015.)

9.http://www.internetsociety.org/internet/what-internet/history-internet/brief-history-internet (7.6.2015.)

10. http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2001/prijenos_govora.htm (13.7.2015.)

11. http://searchtelecom.techtarget.com/definition/video-on-demand (13.7.2015.)

12. Definitions of terms related to quality of service , ITU-T E.800 (13.7.2015.)

13. http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html#pgfId-46256 (15.7.2015.)

14. http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk869/tk769/technologies_white_paper0900aecd806bfb52.html (15.7.2015.)

15. http://www2.ic.uff.br/~michael/kr1999/6-multimedia/6_07-intserv.htm (20.8.2015.)

16. http://www.cs.columbia.edu/techreports/cucs-003-00.pdf (20.8.2015.)

17. http://web.stanford.edu/class/ee368c/Projects/project06/ (20.8.2015.)

18. http://docs.oracle.com/cd/E36784_01/html/E36826/ipqos-intro-10.html (20.8.2015.)

19. Mean Opinion Score (MOS) terminology, ITU-T P.800.1 (2.9.2015.)

20. Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs, ITU-T P.380 (2.9.2015.)

21. http://www.snipview.com/q/Mean_opinion_score (2.9.2015.)

22. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, ITU-R BT.500-8 (2.9.2015.)

23. http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com09/docs/tutorial_opavc.pdf (2.9.2015.)

24. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs, ITU-T P.862 (3.9.2015.)

25. https://blogs.manageengine.com/network/netflowanalyzer/2009/03/05/netflow-based-application-detection-and-qos-implementation-2-of-4.html (20.8.2015.)

26. Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP), ITU-T G.729 (30.8.2015.)

27. One-way transmission time, ITU-T G.114 (30.8.2015.)

28. http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=606583 (30.8.2015.)

29. End-user multimedia QoS categories, ITU-T G.1010 (30.8.2015.)

Popis kratica

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)

DSCP (*Differentiated Service Code Point*)

DSCQS (*Double Stimulus Continuous Quality Service*)

FTP (*File Transfer Protocol*)

IP (*Internet Protocol*)

ISDN (*Integrated Services for Digital Network*)

ISO (*International Organization for Standardization*)

ISP (*Internet Service Provider*)

ITU-T (*International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector*)

LAN (*Local Area Network*)

MAC (*Media Access Control*)

MOS (*Mean Opinion Score*)

MSN (*Multi Service Network*)

PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*)

PHB (*Per-Hop Behaviors*)

PSTN (*Public Switcher Telephone Network*)

RSUP (*Resource Reservtion Protocol*)

SLA (*Service Level Agreement*)

TCP (*Transfer Control Protocol*)

TCP/IP (*Transfer Control Protocol/Internet Protocol*)

UDP (*User Datagram Protocol*)

VoD (*Video on Demand*)

VoIP (*Voice over Internet Protocol*)

QoS (*Quality of Service*)

WWW (*World Wide Web*)

Popis slika

Slika 1. Prikaz telekomunikacijske mreže prema poopćenom modelu 3
Slika 2. Arhitektura višeuslužnih mreža 7
Slika 3. OSI model 9
Slika 4. IntServ mehanizam 19
Slika 5. Klasifikacija prometa u DiffServ mehanizmima 20
Slika 6. Prikaz skale za određivanje kvalitete zvuka 22
Slika 7. Prikaz DSCQS metode 23
Slika 8. Zahtjevi za kvalitetom usluge kod pojedinih aplikacija 26
Slika 9. Dozvoljeno kašnjenje prema ITU-T 28