

# Iskustvena kvaliteta u više uslužnim mrežama

---

**Bobanović-Čolić, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:284763>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-04**



**SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU**  
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU  
ODJEL ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO

FILIP BOBANOVIĆ-ĆOLIĆ  
ISKUSTVENA KVALITETA U VIŠEUSLUŽNIM  
MREŽAMA

ZAVRŠNI RAD

Dubrovnik, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU  
ODJEL ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO

ISKUSTVENA KVALITETA U VIŠEUSLUŽNIM  
MREŽAMA

ZAVRŠNI RAD

Studij: Primijenjeno/poslovno računarstvo

Kolegij: Arhitektura mreža nove generacije

Mentor: izv. prof. dr. sc. Adriana Lipovac

Student: Filip Bobanović-Čolić

Dubrovnik, rujan 2022.

## SAŽETAK

U ovom radu je glavni zadatak analizirati iskustvenu kvalitetu usluge u višeuslužnim mrežama. U prvom dijelu rada definirane su višeuslužne mreže, te je opisan njihov razvoj, arhitektura i protokoli koji se u njima koriste. Nakon toga definiran je pojam kvalitete usluge te parametri koje svaka od usluga mora zadovoljiti. Za određivanje kvalitete usluge opisane su neke od subjektivnih i objektivnih metoda. Na kraju je objašnjenja iskustvena kvaliteta i modeli koji se primjenjuju u višeuslužnim mrežama.

*Ključne riječi: iskustvena kvaliteta, kvaliteta usluge, višeuslužne mreže*

## ABSTRACT

In this paper, the main task is to analyse the quality of experience in multiservice networks. In the first part of the work, multi-service networks are defined, and their development, architecture and protocols used in them are described. After that, the concept of service quality and the parameters that each of the services must meet are defined. Some of the subjective and objective methods are described for determining the quality of service. At the end, there is an explanation of the quality of experience and the models that are applied in multi-service networks.

*Key words: quality of experience, quality of service, multiservice networks*

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
ABSTRACT .....	I
1 UVOD .....	1
1.1 Definicija rada .....	1
1.2 Svrha i ciljevi rada .....	1
1.3 Struktura rada .....	2
2 VIŠEUSLUŽNE MREŽE .....	3
2.1 Razvoj višeuslužnih mreža .....	3
2.2 OSI model .....	4
2.3 TCP/IP model .....	6
2.4 Protokoli u višeuslužnim mrežama.....	7
2.4.1 SIP .....	7
2.4.2 RTCP protokol .....	11
3 KVALITETA USLUGE U MREŽAMA .....	12
3.1 SLA (Service Level Agreement) .....	12
3.2 Parametri QoS-a .....	13
3.2.1 Propusnost .....	13
3.2.2 Kašnjenje .....	14
3.2.3 Varijacije kašnjenja .....	14
3.2.4 Gubici .....	15
4 METODE MJERENJA KVALITETE USLUGE .....	16
4.1 Subjektivne metode mjerenja kvalitete usluge .....	16
4.2 Objektivne metode mjerenja kvalitete usluge .....	17
5 ISKUSTVENA KVALITETA .....	20
5.1 QoE modeli .....	21
5.2 Subjektivne metode mjerenja kvalitete usluge .....	21
5.3 Nabava iz mnoštva (eng. <i>Crowdsourcnig</i> ) .....	22
5.4 Interdisciplinarnost: Psihofizika, Psihofiziologija i Informatika.....	23
5.5 QoE modeliranje svjesnim podacima ( <i>Data-Aware QoE Modeling</i> ).....	23
5.6 Sažetak novih pristupa za izvođenje QoE modela.....	24
6 ZAKLJUČAK .....	25
7 LITERATURA.....	26
8 PRILOZI.....	28
8.1 Popis slika.....	28
8.2 Popis Tablica .....	28

# 1 UVOD

Višeuslužne mreže su telekomunikacijske mreže koje omogućavaju korištenje više od jedne aplikacije putem iste prijenosne infrastrukture. Takva mreža je Internet. Kada govorimo o kvaliteti usluge moramo se pobrinuti o zadovoljstvu korisnika tom uslugom. Važno je da mreža zadovoljava sve tehničke parametre zadovoljstva usluge i s time omogući dobar QoS (*Quality of service*). S druge strane sve je popularnija i nadopuna QoS-a, relativno novi pojam QoE (*Quality of Experience*) koji se bavi korisnikovim subjektivnim dojmom zadovoljstva usluge. Razni mehanizmi su razvijeni da bi se osigurala kvaliteta usluge u različitim tehnologijama.

## 1.1 Definicija rada

Predmet istraživanja završnog rada je istražiti i analizirati kakva iskustvena kvaliteta usluge se pruža u višeuslužnim mrežama, u radu pod nazivom "Iskustvena kvaliteta u višeuslužnim mrežama". Višeuslužne mreže su telekomunikacijske mreže koje omogućavaju korištenje više od jedne aplikacije putem iste prijenosne infrastrukture. Najpoznatija višeuslužna mreža je Internet. Korisnici telekomunikacijskih usluga su najzahtjevniji kod iskustvene kvalitete usluge. Proučavanjem navedene teme može se vidjeti kako velike telekomunikacijske tvrtke pokušavaju svoj rad prilagoditi svim zahtjevima korisnika.

## 1.2 Svrha i ciljevi rada

Svrha ovog završnog rada je analizirati potrebe korisnika i aplikacija da bi se mogla standardizirati kvaliteta usluge u IP (*Internet Protocol*) mreži. Potrebno je i objasniti razne mehanizme da bi se mogla postići zadovoljavajuća razina usluge u IP mrežama. Potrebno je objasniti razna mjerenja za provjeru i praćenje parametara kvalitete. Uz to potrebno je uzeti u obzir i korisnikovo subjektivno zadovoljstvo danom uslugom te s određenim mjerenjima to zadovoljstvo kvantificirati i pokušati ga optimizirati.

### **1.3 Struktura rada**

Rad se sastoji od 8 poglavlja. U prvom poglavlju se uvodi čitatelja u strukturu rada. Navode se predmet, svrha, cilj rada što će čitatelju dati jasnu predodžbu o čemu će se pisati. U drugom poglavlju je odrađen teoretski dio koje se bazira na ulogu višeslužne mreže. U drugom poglavlju su također prikazani i protokoli višeslužnih mreža. Treći poglavlje se odnosi na kvalitetu usluge u mrežama, dok četvrto obrađuje metode mjerenja kvalitete usluga u višeslužnim mrežama: subjektivnu i objektivnu. Peti dio se odnosi na iskustvenu kvalitetu u višeslužnim mrežama te se detaljno objašnjavaju QoE modeli koji se koriste u višeslužnim mrežama. Šesti dio rada je zaključak završnog rada.

## 2 VIŠEUSLUŽNE MREŽE

Višeuslužne mreže (*MSN-Multiservice Network*) su dizajnirane da prenose više od jedne vrste aplikacije putem iste fizičke infrastrukture. Uz to višeuslužne mreže imaju ugrađene mehanizme da bi podržali sve te vrste aplikacija bez ugrožavanja kvalitete usluge (*QoS-Quality of Service*) za bilo koju od njih.

Tradicionalno višeuslužne mreže koriste asinkroni način prijenosa (*ATM-Asynchronous Transfer Mode*) ili FR (*Frame Relay*) i rade na podatkovnom sloju (drugom sloju) OSI referentnog modela (*OSI RM-Open Systems Interconnection/Reference Model*). Danas višeuslužne mreže dodaju Ethernet, IP (*Internet Protocol*), VPN (*Virtual Private Network*) i usluge više-protokolarnog prospajanja labela (*MPLS-Multiprotocol Label Switching*). Mnoge mreže pružatelja usluga građene su po strukturi da se na nekim mjestima koristi glasovna mreža, a na drugima Frame Relay i posvuda ATM mreža kao konvergirana platforma za više usluga. Povećanjem potražnje za pristup internetom 1990-ih mnogi pružatelji usluga su bili prisiljeni da naprave posebnu infrastrukturu da bi omogućili IP mogućnosti korisnicima. Ovakva vrsta odgovora na zahtjeve korisnika stvorila je namjenski izgrađene mreže koje su služile samo jednoj svrsi, nemaju modularnosti i proširivosti i skupe su za održavanje jer moraju paralelno raditi s drugim vrstama mreža.

U današnje doba umrežavanje se temelji da se sve više različitih usluga koristi u postojećoj mrežnoj infrastrukturi, a ne da svaka nova tehnologija zahtjeva posebnu mrežnu infrastrukturu za nju. Operativnim spajanjem i integriranjem više vrsta tehnologija poput glasa, videa i IP-integriranih podataka novi je smjer višeuslužne mrežne infrastrukture. Ovakvim načinom se optimiziraju ulaganja i troškovi.

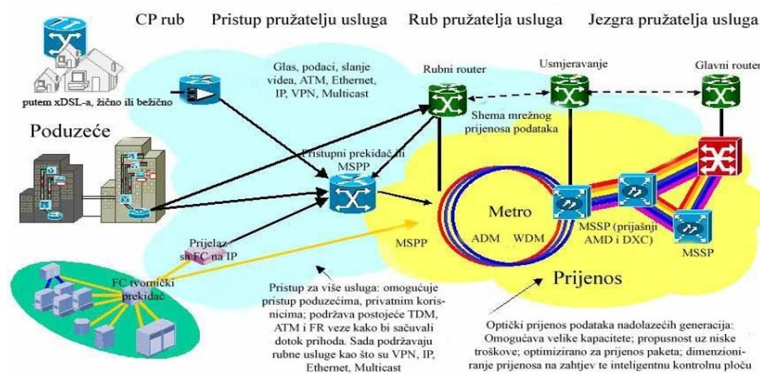
### 2.1 Razvoj višeuslužnih mreža

ATM forum i ITU-T su 1980-ih godina prošlog stoljeća donijeli niz preporuka s ciljem poboljšanja telekomunikacijske mreže te načina kako da se isprave nedostaci postojećih mreža. Rješenje problema su našli u novom prijenosnom mediju – optici, a nova mreža je nazvana ISDN (*Integrated Services Digital Network*). Ta nova mreža trebala je omogućiti interoperabilnost više simultanih usluga poput digitalnog prijenosa govora u klasičnoj telefonskoj mreži, PSTN-u (*Public switched telephone network*). Novi način rada zahtijevao je i definiranje novih ATM standarda, sinkronizaciju optičke mreže (*SONET-Synchronous Optical Network*), multipleksiranje (*SDH-Synchronous Digital Hierarchy*) te za komutaciju (eng. *switching*). Takva mreža je od samih početaka bila zamišljena kao višeuslužna te je



trebala omogućiti prijenos i komutaciju svih vrsta informacija (govor, video i podaci) s kraja na kraj mreže na velike udaljenosti. Iako ATM ima obilježja spojne tehnike, on nije zamišljen za prijenos IP datagrama iako je u sebi imao ugrađene QoS mehanizme. Kasnije se uspješno implementirao transport IP prometa te se pomoću toga omogućio razvoj LAN (*Local Area Network*) mreža. Daljnjim razvojem ATM komutaciju je počeo zamjenjivati Ethernet i proizvodi temeljeni na IP tehnologiji zbog njihove niže cijene, lakšeg održavanja i manjim zahtjevima u usporedbi s ATM ćelijama.

Razvoj nove arhitekture započeo je 1970-ih godina prošlog stoljeća jer se prilikom povezivanja različite računalne opreme u kojoj su bili instalirani nekompatibilni (računalni programi (eng. *software*) javila potreba za novom slojevitom arhitekturom jer je povezivanje zahtijevalo složene prilagodbe. Godine 1977. ISO (*International Organization for Standardization*) je pokrenula razvoj referentnog modela za povezivanje otvorenih sustava kojeg su nazvali OSI (*Open System Interconnection*) model. S obzirom na to da je OSI-RM bio „apstraktni“ model, razvijena je dopuna odnosno skup protokola TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) koji je široko primijenjen.



Slika 1. Arhitektura višeslužnih mreža

Izvor: (Pavin, 2016.)

## 2.2 OSI model

OSI referentni model je apstraktni, slojeviti model koji služi kao preporuka stručnjacima za razvoj računalnih mreža i protokola. Ovaj model pruža proizvođačima softvera i hardvera skup standarda koji osiguravaju veću kompatibilnost između različitih mrežnih protokola. Koristi se pri projektiranju i proučavanju mreža s obzirom na to da dijeli arhitekturu mreže na slojeve te daje spisak usluga kako rade i funkcioniraju na svakom sloju. Model se sastoji od sedam slojeva od kojih se „niži“ slojevi orijentiraju na mrežne funkcije, dok se „viši“ slojevi na aplikacijski orijentirane funkcije. Svaki sloj opisuje skup povezanih funkcija koje omogućuju dio računalne komunikacije, dok svih sedam slojeva zajedno

funkcioniraju kao jedna cjelina koja prikazuje tok podatka od njihovog izvora prema odredištu, od prvog do zadnjeg sloja.

Slojevi OSI referentnog modela od nižeg ka višem su:

1. Fizički sloj (eng. *physical layer*) – definira električne, funkcionalne i mehaničke karakteristike koje omogućavaju prijenos slijeda bita (*bit stream*) kroz fizički medij. Jedinice informacije koje se prenose na ovoj razini su bit i oktet.
2. Podatkovni sloj (eng. *data-link layer*) – osigurava pristup fizičkom mediju, s kontrolom toka i kontrolom pogreški. Jedinica informacije koja se koristi na ovoj razini je okvir. Za adresiranje se koristi MAC (*Media Access Control*) adresa.
3. Mrežni sloj (eng. *network layer*) – Ostvaruje vezu između različitih mreža pritom pronalazeći najbolji put do odredišta. Jedinica informacije koja se koristi na ovoj razini je paket.
4. Prijenosni sloj (eng. *transport layer*) – Osigurava pouzdan prijenos podataka s kraja na kraj mreže pritom omogućujući kontrole toka i oporavke od greški.
5. Sloj sesije (eng. *session layer*) – Osigurava mehanizme za komunikaciju između aplikacija.
6. Prezentacijski sloj (eng. *presentation layer*) – Prikazuje podatke različitih tipova na ispravan način da bi računalo i mreža mogli kompatibilno raditi.
7. Aplikacijski sloj (eng. *application layer*) – Pruža usluge korisniku preko korisničkog okruženja.

Slojevi unutar istog modela mogu komunicirati samo s prvim slojem poviše i prvim slojem ispod sebe. Gornji sloj nasljeđuje funkcionalnosti od sloja ispod njega. Između dva OSI modela slojevi jednog modela mogu se samo povezati sa slojevima iste razine drugog modela. To se naziva peer-to-peer komunikacija.

Podjela na slojeve omogućava da se, pridržavanjem smjernica, razvijaju protokoli na određenom sloju nezavisno o protokolima na drugim slojevima. Postoje i drugi modeli koji služe kao orijentacija u razvoju mrežnih protokola. Veliki broj takvih protokola izgrađen je prema TCP/IP modelu.



Slika 2: OSI model

Izvor: (Pavin, 2016)

## 2.3 TCP/IP model

TCP/IP model dobio je naziv po svojim protokolima TCP (*Transmission Control Protocol*) i IP. Ovaj model isto kao OSI model slijedi načelo slojevitosti ali se razlikuje po broju i po smještaju pojedinih funkcija po slojevima. Dok OSI model ima sedam slojeva, TCP/IP model se sastoji od četiri sloja:

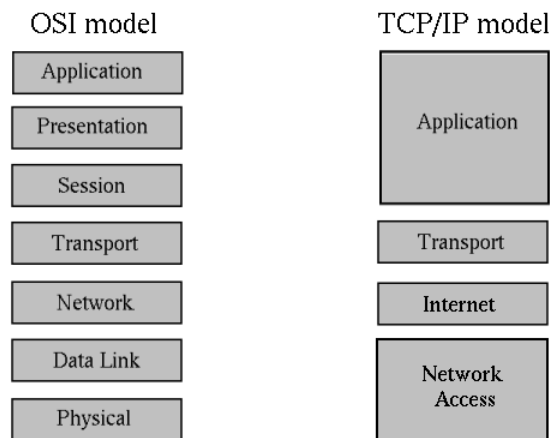
1. Sloj pristupa mreži (eng. *Network Interface Layer*) – Osigurava računalnu i mreži pristup zajedničkom mediju. Ovaj sloj obuhvaća funkcije fizičkog i podatkovnog sloja OSI modela.
2. Internet sloj (eng. *Network Layer*) – Primarni protokol ovog sloja je IP. Ovaj sloj obuhvaća funkcije mrežnog sloja OSI modela.
3. Prijenosni sloj (eng. *Transport Layer*) – Ovaj sloj je paralelan prijenosnom sloju OSI modela. TCP i protokol za prijenos paketa kroz mrežu UDP (eng. *User Datagram Protocol*) su najvažniji protokoli ovoga sloja.
4. Aplikacijski sloj (eng. *Application Layer*) – Pruža aplikacije i usluge sa standardnom razmjenom podataka. Njegovi protokoli obuhvaćaju protokol za prijenos hiperteksta HTTP (eng. *HyperText Transfer Protocol*), FTP (eng. *File Transfer Protocol*), POP3 (eng. *Post Of ice Protocol*), SMTP (eng. *Simple Message Transfer Protocol*) i SNMP (eng. *Simple Network Management Protocol*).

TCP je dominantan, spojni, prijenosni protokol interneta koji garantira pouzdanu isporuku podataka od izvorišta do odredišta. Konekcijski je orijentiran pa stoga uspostavlja logičku vezu između aplikacija prije slanja podataka. Pruža i mogućnost višestrukih istovremenih konekcija prema jednoj aplikaciji od strane više klijenata. Zbog svojih implementiranih zaštitnih mehanizama on tolerira gubitke paketa i s time postiže veliku vjerojatnost dostave paketa na odredište. Kada paket stigne na odredište, izvorištu se šalje poruka o potvrđivanju paketa. Ako u određenom vremenskom periodu izvorište ne primi poruku o potvrđivanju paketa od odredišta taj paket se ponovo šalje.

Za prijenos podataka još se koristi i UDP protokol koji je beskonekcijski orijentiran te ima veću vjerojatnost gubitka paketa jer nema implementirane zaštitne mehanizme. Omogućuje slanje kratkih poruka između aplikacija na umreženim računalima. UDP za razliku od TCP-a ne čuva informaciju o stanju veze, nema mogućnost provjere primitka poruke. UDP se koristi kad je bitnija brzina i efikasnost od pouzdanosti prijenosa podataka.

IP je mrežni protokol za prijenos podataka kojeg koriste računala na oba kraja mreže za uspostavu podatkovne komunikacije preko računalne mreže. Podaci se šalju u blokovima koji se nazivaju paketi ili datagrami. Prilikom slanja paketa između izvorišta i odredišta ne određuje se točan put preko mreže kojim će paketi prijeći. IP protokol će datagrame adresirati i usmjeriti prema odredištu u mreži. On osigurava relativno nepouzdanu uslugu prijenosa podataka na modelu usluge nazvanim najboljom mogućom (eng. *Best Effort*), što označava da

ne postoji garancija da će poslani paket ili datagram doći do odredišta. IP protokol posjeduje i mogućnost fragmentiranje podataka, kao i prijavu greške ako do nje dođe.



Slika 3. Razlika između OSI modela i TCP/IP modela

Izvor: (Sysportal)

## 2.4 Protokoli u višeslužnim mrežama

Glavni protokoli u višeslužnim mrežama su:

- *SIP (Session Initiation Protocol)*,
- *RTCP (Real-time Transport Control Protocol)*,

### 2.4.1 SIP

SIP je signalizacijski protokol aplikacijskog sloja koji služi za uspostavu, održavanje i prekid komunikacije između klijenata. Omogućava uspostavu i upravljanje različitim višemedijskim komunikacijskim sesijama između korisnika:

- glasovnih ili video poziva preko IP-a
- slanja poruka

- igranje putem interneta
- višemedijske konferencije
- mnogih drugih

SIP ne radi sam već omogućuje komunikaciju koja se nakon toga može odvijati na različite načine i pomoću drugih protokola koji su najčešće:

- Session Description Protocol (SDP) – protokol koji određuje karakteristike sesije i kodira ih
- Real-time Transport Protocol (RTP) – protokol koji prenosi višemedijske podatke u realnom vremenu

SIP koristi elementa dizajna slične modelu HTTP. Svaka se transakcija sastoji od zahtjeva klijenta koji poziva određenu metodu ili funkciju na poslužitelj i jedan ili više odgovora.

Mrežni elementi koji za međusobnu komunikaciju koriste SIP protokol nazivaju se SIP korisničkim agentima. Kod najjednostavnije implementacije moguće je koristiti samo dva korisnička agenta koji međusobno šalju SIP poruke. SIP mreža sastoji se od više vrsta SIP mrežnih elemenata: korisnički agenti, posrednički poslužitelji, poslužitelji za preusmjeravanje, registri, kontroleri granica sesije, mrežni pristupnici.

Korisnički agenti su krajnje točke koje koriste SIP da bi se međusobno locirale, pregovarale o karakteristikama sesije te primale ili slale poruke. Obično se nalaze na korisničkom računalu u obliku aplikacije ali agenti mogu i biti mobilni telefoni, PDA (*Personal Digital Assistant*) uređaji itd. Dvije glavne vrste korisničkih agenata su poslužitelj korisničkog agenta (UAS-*User Agent Server*) i klijent korisničkog agenta (UAC-*User Agent Client*). UAS ima zadatak primanja podatka i slanja odgovora dok UAC ima zadatak slanja zahtjeva i primanja odgovora. Svaki agenti ovisno o situaciji ima ulogu UAS-a ili UAC-a.

SIP telefon je IP telefon koji implementira funkcije poslužitelja SIP korisničkog agenta i pruža tradicionalne funkcije poziva kao što su biranje, odgovaranje, odbijanje, zadržavanje i prijenos poziva. Oni mogu biti implementirani kao hardverski uređaji ili putem softwera. Kako se SIP sve više primjenjuje kao standardna telefonska platforma razlika između softverske ili hardverske implementacije je minimalna jer su SIP elementi implementirani u osnovne funkcije upravljačkog softwera koji podržavaju komunikaciju putem IP-a poput pametnih telefona.

Da bi se korisnički agent identificirao koristi istu metodu kao i HTTP, polje zaglavlja poruke koje sadrži tekstualni opis softwera, hardwarea ili naziva proizvoda. Polje korisničkog agenta šalje se u porukama zahtjeva koje primajući SIP poslužitelj može prevesti kao podatke za izvođenje specifične konfiguracije uređaja ili aktiviranje pojedinih značajki.

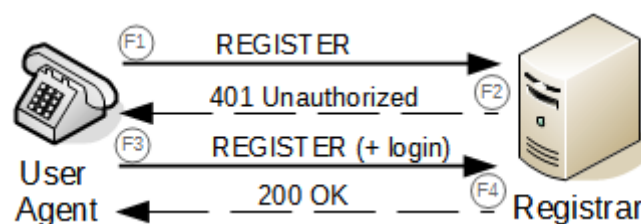
Operatori SIM mrežnih elemenata ponekad pohranjuju podatke ove podatke u korisničke račune da bi mogli koristiti za dijagnostiku problema s kompatibilnošću ili za prikaz statusa usluge.

Posrednički poslužitelj (*Proxy server*) je mrežni poslužitelj s UAC i UAS komponentama koji djeluje kao posrednik u svrhu izvršavanja zahtjeva u ime drugim mrežnih elemenata. Oni s obzirom na trenutnu lokaciju pozvanog usmjeravaju poruke za uspostavu sesije, obavljaju autentikaciju korisnika i ostale funkcije. Zahtjev za uspostavom sesije obično ide do nekoliko posredničkih poslužitelja sve dok ne pronađe onoga koji ima informaciju o lokaciji pozvanog. Iz jednog zahtjeva se može uspostaviti više dijaloga tako da više korisnika odjednom mogu primiti isti poziv.

Postoje dvije vrste posredničkih poslužitelja: bez stanja transakcije (*stateless*) i sa stanjem transakcije (*stateful*).

Poslužitelj za preusmjeravanje (*redirect server*) je poslužitelj korisničkog agenta koji zaprima zahtjev i šalje odgovor s lokacijom određenog korisnika. Kada zaprimi zahtjev on pretražuje svoju bazu podataka s lokacijama koju kreira registar, kako bi pronašao primatelja kojem je zahtjev namijenjen. Nakon toga kreira popis trenutnih lokacija korisnika i šalje ih pošiljatelju zahtjeva kao odgovor. Pošiljatelj zahtjeva zatim povlači popis odredišta i direktno njima šalje novi zahtjev.

Registar je krajnja točka SIP-a koja pruža uslugu lociranja. Ona prima registracije od korisnika, povlači informacije o njihovoj trenutnoj lokaciji (IP adresa, korisničko ime i port) te sprema informacije u lokacijsku bazu podataka. Često rade u suradnji s posredničkim poslužiteljima.



Slika 4. SIP korisnički agent registrira se na SIP registar

Izvor: (Wikipedia)

Kontroler granica sesije (*Session Border Controller*) služi kao posredni okviri između korisničkih agenata i SIP poslužitelja za različite vrste funkcija. Neke od tih funkcija su: skrivanje topologije mreže i pomoć u prolaska NAT-om.

Mrežni pristupnik (*Gateway*) služi kako bi povezo SIP mrežu s drugim mrežama poput javne telefonske mreže koja koristi različite protokole i tehnologije.

SIP je tekstualni protokol sa sintaksom sličnom onome u HTTP-u. Postoje dvije različite vrste SIP poruka: zahtjevi (*request*) i odgovori (*response*).

Prilikom slanja SIP poruka, klijent šalje poruke zahtjeva, a poslužitelj kada primi poruku šalje jedan ili više odgovora. Zahtjevi se koriste da bi se inicirala neka akcija. Odgovori se koriste da bi se potvrdio primljeni zahtjev.

Početna linija u poruci je linija zahtjeva koja se sastoji od tipa poruke, Request URI (*Uniform Resource Identifiers*) koji određuje korisnika ili uslugu kojoj je zahtjev upućen, te verzije SIP protokola.

Svaki SIP zahtjev sadrži polje nazvano metoda koje označava njegovu svrhu. Tipovi metoda:

- REGISTER – registrira lokaciju korisnika u registracijskom poslužitelju
- INVITE – pokreće sesiju pozivajući korisnika da sudjeluje u njoj
- ACK – potvrđuje da je klijent primio konačni odgovor na INVITE zahtjev
- BYE – pokreće prekid sesije
- CANCEL – poništava SIP zahtjev za koji još nije stigao konačni odgovor
- UPDATE – omogućava promjenu parametara sesije a da se pri tome ne mijenja stanje sesije
- REFER – omogućava usluge preusmjerenja i prijenosa poziva
- PRACK – potvrđuje prijem poruke privremenoga SIP odgovora kada se zahtjeva pouzdanost njegova slanja
- SUBSCRIBE – traži slanje obavijesti o događajima od prijavitelja
- NOTIFY – obavještava o novim događajima
- PUBLISH – objavljuje događaj na poslužitelju za obavijesti
- MESSAGE – šalje tekstualnu poruku
- INFO – omogućava slanje informacije a da se pri tom ne mijenja stanje sesije
- OPTIONS – upit o mogućnostima poslužitelja

Odgovore šalje poslužitelj korisničkog agenta, potom ukazujući na rezultat primljenog zahtjeva. Postoje nekoliko klasa odgovora, određeno numeričkim rasponom kodova rezultata:

- 1xx – privremeni odgovori na zahtjeve ukazuju na to da je zahtjev valjan i obrađuje se
- 2xx – uspješno ispunjavanje zahtjeva. Kao odgovor na INVITE, ukazuje da je poziv uspostavljen.
- 3xx – za ispunjavanje zahtjeva potrebno je preusmjerenje poziva. Zahtjev mora biti ispunjen s novim odredištem.
- 4xx – zahtjev se ne može ispuniti na poslužitelju
- 5xx – poslužitelj nije ispunio naizgled valjan zahtjev, ukazuje na unutarnje pogreške poslužitelja

- 6xx – zahtjev ne može biti ispunjen ni na jednom poslužitelju.

#### 2.4.2 RTCP protokol

RTCP protokol je popratni protokol za RTP (*Real-time transport protocol*) protokol koji se koristi u VoIP (*Voice over IP*) mrežama. Koristi se za nadzor prijenosa i kvalitete usluge (QoS). Primarna funkcija RTCP-a je pružiti povratnu informaciju o kvaliteti distribucije podataka koju ostvaruje RTP. Ova je funkcija sastavni dio uloge RTP-a kao transportnog protokola i povezana je s funkcijama kontrole protoka i zagušenja mreže. RTCP izvještava o pojavi problema ali ne može ukazati na to gdje se točno problem pojavio. Uz informacije generirane od različitih medijskih pristupnika u mreži, RTCP povratna izvješća omogućuju administratoru da procjeni gdje bi performanse mreže mogle biti degradirane. RTCP omogućuje administratorima praćenje kvalitete sesije poziva praćenjem gubitaka paketa, kašnjenja, podrhtavanja i drugih ključnih VoIP problema. Te se informacije periodički dostavljaju na oba kraja i obrađuju ih medijski pristupnici po pozivu.



### 3 KVALITETA USLUGE U MREŽAMA

Međunarodna unija za telekomunikacije ITU preporučuje definiciju kvalitete usluge QoS u preporuci ITU-T E.800 kao: „ukupna karakteristika telekomunikacijske usluge koja utječe na njezinu sposobnost da zadovolji navedene i pod razumne potrebe korisnika te usluge“. U prošlosti, za svaku se od usluga koristila zasebna infrastruktura. QoS je u doba analogne telefonije označavao vjerojatnost dostupnosti puta u telekomunikacijskoj mreži. Razvoj višeslužnih mreža omogućio je da se više različitih usluga može prenijeti preko iste infrastrukture. Tako se preko iste infrastrukture u višeslužnim mrežama mogu prenijeti podatkovne, multimedijske, govorne i video usluge preko iste fizičke infrastrukture. Taj razvoj je isto tako povećao potrebu da se unaprijedi QoS da bi se mogla zadovoljiti kvaliteta svih tih dodatnih usluga.

QoS je korištenje mehanizama ili tehnologija koje rade na mreži za kontrolu prometa i osiguranje prometa i performansi kritičnih aplikacija s ograničenim mrežnim kapacitetom. Organizacijama omogućuje prilagodbu cjelokupnog mrežnog prometa davanjem prioriteta određenim aplikacijama visokih performansi. Obično se primjenjuje na mreže koje prenose promet za sustave koji zahtijevaju velike resurse. Uobičajene usluge za koje je QoS potreban uključuju televiziju internetskog protokola (*IPTV-Internet Protocol Television*), online igranje, streaming medija, videokonferencije, video na zahtjev (*VOD-Video on Demand*) i glas preko IP-a (*VoIP*). Korištenjem QoS-a u umrežavanju, organizacije imaju mogućnost optimiziranja performansi više aplikacija na svojoj mreži i dobivanja uvida u propusnosti mreže, kašnjenju, varijaciji kašnjenja i gubitku paketa na mreži. To osigurava da mogu projektirati promet na svojoj mreži i promijeniti način na koji se paketi usmjeravaju na Internet ili druge mreže kako bi se izbjeglo kašnjenje prijenosa. Također se postiže da organizacije postizu očekivanu kvalitetu usluga za aplikacije i pruže očekivana korisnička iskustva. Ključni cilj QoS-a je omogućiti mrežama i organizacijama da daju prioritet prometu, što uključuje ponudu namjenske propusnosti, kontroliranje varijacije i niske vrijednosti kašnjenja.

#### 3.1 SLA (Service Level Agreement)

Ugovor o razini usluge SLA je alat kojim se stvara obveza davatelja usluga prema klijentima. Time se osiguravaju pojedini aspekti usluge poput kvalitete i dostupnosti budu po specifikacijama ugovora. U SLA ugovoru razina usluge je standardizirana, evidentirana i dokumentirana, definira mehanizme koji uspostavljaju mjerenje razine usluge na obje strane stvarajući temelje za unaprjeđenje razine usluga. Po ugovoru pružatelj usluga snosi

odgovornosti u poslovnom procesu, omogućava lakše planiranje i osiguravaju se sredstva za resurse, optimizira se funkcionalnost poslovnog procesa i poboljšava se razumijevanje davatelja za korisnikove potrebe i prioritete.

## 3.2 Parametri QoS-a

Parametri QoS-a su: propusnost, kašnjenje, varijacije kašnjenja, i gubitci paketa i ovisno o vrsti usluge zahtjevi za te parametre će biti različiti. Ti parametri se još zovu uslužno specifični QoS parametri jer su vezani za specifičnu uslugu. Ovi parametri također direktno utječu na zadovoljstvo korisnika i s time predstavljaju tehnički interpretaciju njegovih zahtjeva za kvalitetom. Uzimanjem njihovih prosječnih vrijednosti možemo ih svrstati i u ključne QoE (*Quality of Experience*) parametre.

### 3.2.1 Propusnost

Propusnost (eng. *bandwidth*) predstavlja količinu podataka koja se može prenijeti s jedne točke na drugu unutar mreže u određenom vremenu. Obično se propusnost izražava kao brzina prijenosa i mjeri u bitovima po sekundi (*bps-bytes per second*). Pojam propusnost odnosi se na prijenosni kapacitet veze i važan je čimbenik pri određivanju kvalitete i brzine mreže ili internetske veze. Postoji nekoliko načina za mjerenje propusnosti. Neka se mjerenja koriste za izračunavanje trenutnog protoka podataka, dok druga mjere maksimalni protok, tipični protok ili ono što se smatra dobrim protokom. Ako propusnost nije dovoljno velika ona izaziva povećanje kašnjenja podatkovnih paketa jer paketi provode više vremena u redovima čekanja (međuspremnicima) mrežnih uređaja dok čekaju na svoju obradu. Kod ekstremnih slučajeva premale propusnosti može doći i do gubitaka paketa ako se međuspremnicima napune do maksimuma jer onda dolazi do odbacivanja paketa. Zbog toga je potrebno da mreža ima dovoljno veliku propusnost da bi zadovoljila QoS, tj. da je kapacitet kanala i broj tokova podataka koji dijele zajedničku infrastrukturu zadovoljavajući.

Opseg u terminu uspješno prenesenih paketa - jednak je odnosu ukupnog broja uspješno prenesenih paketa u promatranom vremenu i trajanja tog vremena  $\Delta t$ :

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

Opseg u terminu prenesenih bajta - jednak je ukupnom broju okteta koji su uspješno preneseni u promatranom vremenskom intervalu  $\Delta t$ :

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

### 3.2.2 Kašnjenje

Kašnjenje (eng. *delay, latency*) se odnosi na nekoliko vrsta kašnjenja koja se javljaju u obradi mrežnih podataka i najčešće se izražava u mili sekundama (ms). Može se definirati kao vrijeme koje je potrebno paketu da dođe od izvorišta do odredišta. Visoko mrežno kašnjenje može dramatično povećati vrijeme učitavanja web stranice i učiniti aplikaciju neupotrebljivom i tako negativno utjecati na QoS. Kašnjenje mogu uzrokovati mnoge stvari, uključujući sljedeće:

1. Prijenosnome mediju – WAN (*Wide Area Network port*) ili optički kabeli imaju ograničenja i mogu utjecati na kašnjenje zbog svojih prirodnih svojstava.
2. Propagacije – vrijeme koje je potrebno da paket putuje od svog izvorišta do odredišta.
3. Usmjerivači – vrijeme potrebno analiziraju informacije zaglavljaja paketa i u nekim slučajevima dodavanju dodatne informacije u zaglavljaja paketa. Svaki skok paketa od jednog usmjerivača do drugoga dodaje dodatno kašnjenje.
4. Mediju za pohranu podataka – kada se paket pohranjuje ili kad mu se treba pristupiti, što rezultira kašnjenjem uzrokovanim medijima za pohranu podataka.

### 3.2.3 Varijacije kašnjenja

Varijacije kašnjenja (eng. *jitter*) se definira kao razlika vremena kašnjenja paketa između izvorišta i odredišta jer vrijeme potrebno da se paketi pošalju nije isto razdoblju u kojem će stići na stranu primatelja. Najčešći razlog pojave varijacije kašnjenja su različiti putevi koje paketi prolaze od izvora do odredišta. Aplikacije koje su osjetljive na varijaciju kašnjenja mogu različitim koracima smanjiti ili otkloniti varijacije kašnjenja. Zbog posljedice varijacije povećava se kapacitet međuspremnik u prijemniku kako bi se zadržali pristigli paketi i sačekali oni koji imaju veće kašnjenje. Ovaj parametar može ozbiljno utjecati na kvalitetu (eng. *streaminga*) audio ili video sadržaja.

### 3.2.4 Gubici

Gubitak paketa (eng. *packet loss*) događa se kada jedan ili više paketa ne stignu na odredište. Paketi koji se izgube usporavaju brzinu mreže, uzrokuju uska grla (eng. *bottlenecks*) i smanjuju propusnost mreže. Postoje mnogi uzorci gubitaka paketa:

1. Zagušenje mreže – kada mrežni promet dosegne maksimalni kapacitet, paketi će morati čekati da budu isporučeni. Da bi mreža uspostavila vezu s trenutnim prometom ona će odbaciti pakete koji čekaju na obradu. Ti odbačeni paketi mogu biti vraćeni pomoću programa koji će ih ponovo poslati ili usporiti brzinu prijenosa da bi se mogli obraditi paketi.
2. Problemi s mrežnom opremom – neispravan ili zastarjeli hardver koji nije u mogućnosti obraditi mrežni promet.
3. Programske greške – neprovjerene greške u sustavu mogu poremetiti performanse mreže i spriječiti je da prenese dovoljno paketa.
4. Preopterećeni uređaji – mreža radi s većim kapacitetom od onog za kojeg je predviđena. Paketi stignu na odredište, ali je mreža preslaba da ih obadi i pošalje natrag. Spremaju se tad u međuspremnik međutim, ti se međuspremnik mogu brzo napuniti, a višak paketa se tada odbacuje.
5. Sigurnosne prijetnje – napadi s ispuštanjem paketa postali su popularni među kibernetičkim kriminalcima posljednjih godina.
6. Neadekvatna infrastruktura za rukovanje gubitkom paketa – bez sveobuhvatnog rješenja za nadzor mreže, ne može se garantirati sigurnost od gubitka paketa.

## 4 METODE MJERENJA KVALITETE USLUGE

Korisniku je najvažnija kvaliteta, primljene usluge, ne zanemarujući se s tehničkim karakteristikama mreže. Korisnik ne može znati kolika je širina pojasa ili koliko se paketa izgubilo u prijenosu. Imamo dvije metode koje mjeru kvalitetu usluge; subjektivna i objektivna. Subjektivnu metodu svaki korisnik drugačije percipira, te on nakon korištenja dane usluge ocjenjuje njegovo zadovoljstvo uslugom. Objektivna metoda je mjera kvalitete fizičkih osobina mreže, QoS parametara.

### 4.1 Subjektivne metode mjerenja kvalitete usluge

Kod subjektivne metode ispitivanja kvalitete usluge (QoE) korisnici ocjenjuju svoj subjektivni osjećaj kvalitete usluge. U ovome poglavlju ćemo objasniti dvije osnovne metode za mjerenja iskustvene kvalitete, a kasnije ćemo objasniti novije i naprednije metode.

Rezultat ispitivanja subjektivne metode izražava se u prosječnoj ocjeni mišljenja (MOS-*Mean Opinion Score*). MOS je standardiziran od strane ITU-T i njegov rezultat se odnosi na: brojčanu mjeru ukupne kvalitete glasovnih i video sesija koju procjenjuju ljudi. Najčešće se ocjenjuje na ljestvici od 1 (loše) do 5 (izvršno) gdje ocjena označava ispitanikovu percipiranu kvalitetu glasovnog poziva. MOS se koristi već desetljećima i originalno je razvijen za tradicionalne glasovne pozive, ali je u današnje vrijeme moderniziran i koristi se za ocjenjivanje VoIP kvalitete.

Kod izračuna MOS-a kod VoIP poziva najveći faktor će biti koji će se kodeks koristiti da bi se izvršila kompresija podataka. Ne možemo samo uzimati u obzir kodekse koji će najmanje utjecati na smanjene kvalitete VoIP poziva jer će takvi i koristiti najviše prometa i tako zauzimati veću propusnost od kodeksa koji vrše veću kompresiju.

Donja tablica navodi različite kvalitete i najnižu granicu MOS rezultata za svaku od njih.

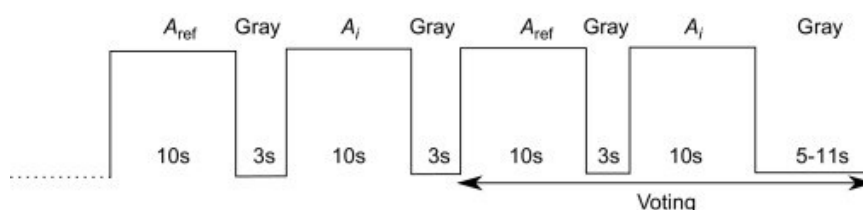
MOS	KVALITETA	UMANJENJE
1.	odlično	neprijetno
2.	dobro	primjetno, ali ne iritantno
3.	pošteno	malo iritantno
4.	slabo	iritantno
5.	loše	jako iritantno

Tablica 1. Prikaz skale za određivanje kvalitete zvuka

Izvor: (Pavin, 2016)

Dvostruki poticaj kontinuirane ljestvice kvalitete (DSCQS- *Double Stimulus Continuous Quality Scale*) je popularna subjektivna metoda za mjerenja kvalitete video usluga. U ovoj metodi podražaji se uvijek prikazuju i procjenjuju u parovima (iz istog izvornog sadržaja). Međutim, korisnicima nije eksplicitno rečeno da je jedan od ta dva podražaja referenca i da bi trebali ocjenjivati oba u isto vrijeme. Preporuka dopušta dvije različite varijante:

1. Ispitaniku je dopušteno slobodno prebacivanje između dva podražaja i zatim davanje bodova za oba na ljestvici.
2. Podražaji se prikazuju dvaput, prema slici



**Slika 5.** Vremenski okvir DSCQS metode

*Izvor:* (Science direct, 2014)

## 4.2 Objektivne metode mjerenja kvalitete usluge

Kod objektivne metode ispitivanja kvalitete usluge (QoS) upotrebljavaju se različiti programi i algoritmi kojima se određuje kvaliteta usluge. Loši QoS parametri znatno utječu na korisnikovo zadovoljstvo uslugom. Objasniti ćemo metode pomoću kojih je moguće izračunati gubitke u mreži, kašnjenje, propusnost te broj izgubljenih paketa.

Perceptualna procjena kvalitete zvuka (PEAQ- *Perceptual Evaluation of Audio Quality*) je standardizirani algoritam za objektivno mjerenje percipirane kvalitete zvuka. PEAQ model prati temeljna svojstva slušnog sustava i razlikuje faze fizioloških i psihoakustičkih učinaka. Iz usporedbe modela ispitanog signala s izvornim referentnim signalom, izveden je niz izlaznih varijabli modela. Svaka izlazna varijabla modela mjeri različite psihoakustičke dimenzije. U završnoj fazi izlazne varijable modele kombiniraju se kako bi se proizveo rezultat koji se nosi sa subjektivom procjenom kvalitete.

Postoje dvije varijante modela. Osnovna verzija (manje intenzivna obrada) razvijena je da bude dovoljno brza za praćenje u stvarnom vremenu. Napredna verzija računalno je zahtjevnija i može dati neprecizne rezultate.

Percepcijska procjena kvalitete govora (PESQ- *Perceptual Evaluation of Speech Quality*) je standardizirani algoritam koji se koristi za predviđanje subjektivne kvalitete ispitivanja govornih signala. U dugogodišnjim istraživanjima ustanovljeno je da ova metoda ispitivanja uspješno mjeri učinke izobličenja signala i utjecaja šuma na informaciju kod jednosmjernih komunikacija. PESQ algoritam uspoređuje izvorni originalni signal s degradiranim signalom koji nastaje prolaskom izvornog signala komunikacijskim sustavom. Testiranje se provodi tako da se unaprijed pripremi referentni signal u trajanju 8 sekundi koji se onda koristi za procjenu algoritama. Poruke u referentnom signalu su na različitim jezicima i izgovaraju ih različiti govornici, a formirane su od rečenica s međusobnim pauzama. Algoritam koristi modeliranje slušnog sustava čovjeka i modeliranje raspoznavanja kvalitete govornog signala te uspoređuje izvorni i degradirani signal. Rezultat usporedbe se prikazuje ocjenom MOS metode.

Omjer vršnog signala i šuma (PSNR- eng. *Peak signal-to-noise ration*) je omjer između najveće moguće snage signala i snage kvarnog šuma koji utječe na vjernost njegovog prikaza. Budući da mnogi signali imaju vrlo širok dinamički raspon, PSNR se obično izražava kao logaritamska veličina pomoću decibela.

PSNR se obično koristi za kvantificiranje kvalitete rekonstrukcije za slike i videozapise koji su podložni kompresiji s gubitkom.

PSNR se najlakše definira preko srednje kvadratne pogreške (MSE- *Mean Squared error*)

$$MSE = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2, \quad (3)$$

PSNR (u decibelima db) je definiran kao:

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

gdje je n broj bita korištenih za kodiranje elemenata izvorne slike dok MSE predstavlja srednju kvadratnu pogrešku.

Srednja kvadratna greška (MSE-*Mean Squared Error*) 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.

Mjera indeksa strukture sličnosti (SSIM-*Structural Similarity Index Measure*) je objektivna metoda za predviđanje percipirane kvalitete digitalne televizije i kinematografske slike, kao i drugih vrsta digitalnih slika i videa. SSIM se koristi za mjerenje sličnosti između dvije slike. On je vrsta punog referentnog modela, drugim riječima mjerenje ili predviđanje slike temelji se na početnoj referentnoj nekomprimiranoj slici.

SSIM model je temeljen na percepciji koji razmatra degradaciju slike kao percipiranu promjenu u strukturnim informacijama, dok također uključuje važne perceptualne pojave, uključujući izraze maskiranja svjetline i maskiranja kontrasta. Razlika u odnosu na druge tehnike kao što su MSE ili PSNR je u tome što ovi pristupi procjenjuju apsolutne pogreške. Strukturna informacija je ideja da pikseli imaju snažnu međuovisnost, posebno kada su prostorno blizu. Ove ovisnosti nose važne informacije o strukturi objekata u vizualnoj sceni. Maskiranje osvjetljenja je fenomen pri kojem su izobličenja slike (u ovom kontekstu) manje vidljiva u svijetlim područjima, dok je maskiranje kontrasta fenomen pri kojem izobličenja postaju manje vidljiva tamo gdje postoji značajna aktivnost ili "tekstura" na slici.

SSIM indeks izračunava se na različitim prozorima slike. Mjera između dva prozora  $x$  i  $y$  uobičajene veličine  $N \times N$  je:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (5)$$

SSIM formula temelji se na tri usporedna mjerenja između uzoraka od  $x$  i  $y$ : svjetline( $l$ ), kontrasta( $c$ ), i strukture( $s$ ). Pojedinačne funkcije usporedbe su:

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \quad (6)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x\sigma_y + c_3} \quad (7)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2} \quad (8)$$

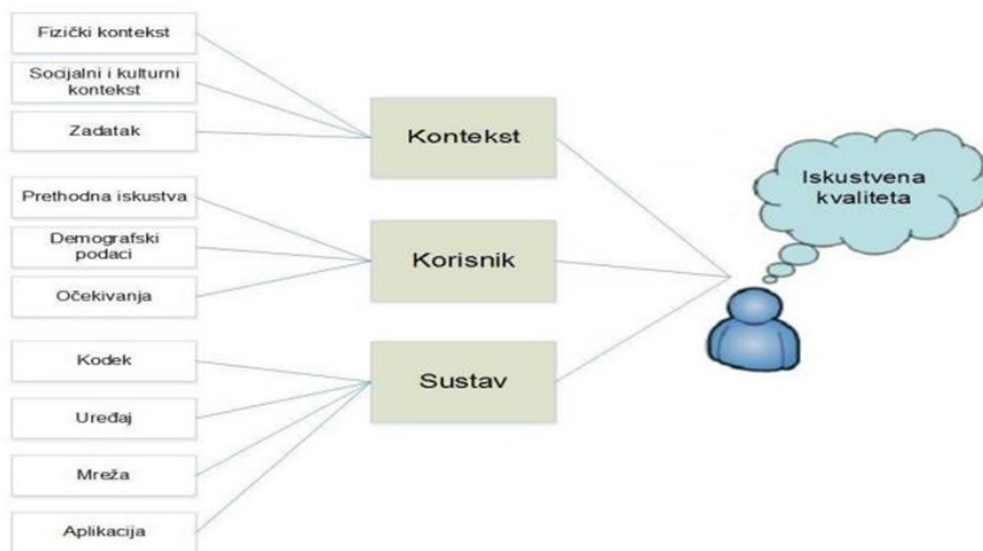


## 5 ISKUSTVENA KVALITETA

Rast multimedijских aplikacija s različitim zahtjevima kvalitete doveo je do toga da se objektni mrežni QoS općenito smatra neadekvatnom metrikom za procjenu kvalitete u telekomunikacijskim uslugama, budući da je relativno novi koncept iskustvene kvalitete QoE postao sve dominantnija alternativa.

QoE se bavi subjektivnim modelom korisnikovog zadovoljstva određenom uslugom. Bavi se procjenom, kvantificiranjem i upravljanjem ukupnim zadovoljstvom korisnika u vezi s multimedijским uslugama. Taj korisnički usmjeren koncept pokušava shvatiti korisničku percepciju kvalitete usluge kako bi se povećalo zadovoljstvo korisnika uslugom.

Ispunjavanje zahtjeva multimedijских usluga zahtjeva učinkovite i fleksibilne mehanizme upravljanja QoE-om integrirane u proces isporuke usluge. Nove mrežne arhitekture i protokoli su potrebni da bi se prevladala uska grla i izazovi povezani s isporukom napredne multimedijске usluge.



Slika 5. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika

Izvor: (Pavin, 2016)

## 5.1 QoE modeli

QoE modeli su temelj za QoE nadzor i pristupe upravljanju, budući da oni identificiraju relevantne parametre QoE-a i u kojoj mjeri oni utječu na njih. Općenito, razlikujemo modele pune reference, reducirane reference i modele bez reference. Najčešće imamo reducirane ili bez reference modele, budući da runo referenci modeli zahtijevaju originalni sadržaj za usporedbu s primljenim sadržajem koji se u praksi rijetko koristi. Sve češće podaci su podvrgnuti nekom vrstom kompresije da bi se smanjila njihova originalna veličina sa što manjim utjecajem na gubitak kvalitete. Moramo u obzir uzeti i nesavršenost mreže i sve prije objašnjene QoS parametre koji mogu utjecati na gubitak kvalitete poslanog podatka. Stoga, QoE upravljanje obično zahtjeva modele koji mogu raditi s podacima na koje utječu QoS parametri poput gubitaka paketa ili video kvalitete. Imamo par vrsta klasifikacije za pristupe modeliranju QoE-a:

1. vrsta aplikacije ili usluge, npr. slika, zvuk, video, web usluga...
2. dostupnost referentnih informacija: puna referenca, smanjena referenca, bez reference
3. vrsta ulaznih podataka kao u ITU standardizacijskim aktivnostima: medijski sloj (ili signal bazirani) modeli, parametrički modeli paketnog sloja, parametrički modeli planiranja, bitstream slojeviti modeli, hibridni modeli.

Da bi se što bolje mogao razumjeti odnos između QoS-a i QoE-a gdje svaki novi parametar dodaje novu dimenziju složenosti, potrebno je u praksi s pravilnim pristupima uzorkovanja i odabiru parametara izvršiti određene radnje koje će smanjiti vrijeme obrade subjektivnih studija kvalitete. U nastavku ćemo objasniti glavne QoE modele i njihovu primjenu u višeuslužnim mrežama. Dvije subjektivne metode ocjenjivanja kvalitete smo već objasnili: MOS i DSCQS, koje se već dugo godina koriste. Ove sljedeće subjektivne metode su relativno novi pojmovi i s puno naprednijim načinom prikupljaju podatke o iskustvenim kvalitetama korisnika.

## 5.2 Subjektivne metode mjerenja kvalitete usluge

Aktivno učenje (*Active Learning*) je pod područje polunadziranog strojnog učenja koje za cilj ima povećavanje učinkovitosti uzorkovanja za QoE modele. Uz pomoć algoritama aktivno učenje odabire podatke od kojih može najviše naučiti, čime se smanjuje broj uzoraka dok performanse ostaju iste. Nakon toga aktivno učenje određuje sljedeće ispitne uvjete koje će ispitanici ocjenjivati. Aktivni pristup učenju se temelji na skaliranju razlike najveće vjerojatnosti (MLDS– *Maximum Likelihood Difference Scaling*). Kao parametar je uzet video bitrate za različite vrste video sadržaja, s ciljem pružanja funkcije mapiranja između video

bitrate-a i QoE-a. Ideja MLDS-a je mjerenje razlike između testnih podražaja. Kombinacijom aktivnog učenja i MLDS-a se pokušavaju stvoriti QoE modeli da bi prevladali pristranost pojedinačnih ocjena podražaja i tako omogućili mnogostruko ocjenjivanje podražaja odjednom. Međutim, MLDS samo kvantificira relativnu razliku u kvaliteti, dok bi apsolutna ocjena kvalitete mogla biti dovoljna za upravljanje QoE-om. Drugi pristup za rješavanje ovakvih problema s ljestvicama ocjenjivanja su testovi uparene usporedbe i mapiranje usporedbe koja onda dovodi do apsolutnih rezultata kvalitete. Odabirom uvjeta dinamičkog ispitivanja pruža pristup za provođenje QoE studija koje su ograničene fiksnim proračunom korisničkih ocjena. Ovakav pristup se može proširiti na kontinuirane QoE studije gdje treba procijeniti određeni raspon parametara, npr. QoE za video bitrate između 500 kbps i 2000 kbps. Time se raspon parametara može adaptivno mijenjati ovisno o potrebnoj statistici testa. Ovakav pristup je pogotovo pogodan za okruženja koja se bave s radom s puno ispitanika.

### **5.3 Nabava iz mnoštva (eng. *Crowdsourcing*)**

Za prikupljanje subjektivnih QoE ocjena od korisnika, nabava ocjena iz mnoštva je vrlo lagan i obećavajući put zbog vrlo lakog prikupljanja velikog broja rezultata. To omogućava velikim QoE evaluacijskim studijama multimedijских aplikacija da se premjeste iz tradicionalnih nerealnih laboratorijskih okruženja ispitivanja i daju istraživačima alat za pristupu globalnom skupu subjekata. Kao rezultat toga, može se uzeti u obzir raznolika populacija i heterogenost korisnika kao i njihovi korišteni uređaji i softwareske konfiguracije koji oni koriste u svom stvarnom okruženju a ne u nekom simuliranom laboratorijskom okruženju. Uz to zbog velike grupe ispitanika, i nižih troškova naknade za ispitanike ovaj pristup postaje sve privlačniji za istraživače.

Nabava iz mnoštva nudi mogućnost proširenja laboratorijskih studija, npr. o utjecaju raznih čimbenika na korisnika. To često nije moguće izvesti u laboratorijskim uvjetima zbog ograničenosti skupa subjekata i ograničenih konteksta. Iako ima puno prednosti nabava rezultata iz mnoštva ima i svoje nedostatke kao nepouzdanost korisnika, dizajn testa za različite korisnike, motiviranje korisnika plaćanjem.

## 5.4 Interdisciplinarnost: Psihofizika, Psihofiziologija i Informatika

Ovaj Model uzima u obzir zakone iz psihofizike koji povezuju ljudsku percepciju s fizičkim podražajem. Npr. u slučaju visokog QoE-a korisnici postaju osjetljiviji na manje smetnje i lakše ih primjećuju.

Psihofiziološka procjena pokušava prevladati neke probleme zbog samo prijavljivanja, npr. problemi s ljestvicom ocjenjivanja gdje korisnice obično koriste samo dio ljestvice ocjenjivanja ako ljestvica sadrži previše stavki. Previše stavki u ljestvici može kod ispitanika povećati neizvjesnost kako pravilno ocijeniti kvalitetu usluge, dok nedovoljan broj stavki nema dovoljnu snagu da bi se test točno izveo. Stoga se psihofiziološka mjerenja koriste za objašnjenje QoE procjene subjekata i da bi se poboljšali postojeći QoE modeli pružanjem dubljeg razumijevanja, posebno čimbenika povezanih s korisnikom i njihovu ulogu u QoE modeliranju. U takvim mjerenjima psihofiziološki signali se mjere kao odgovor na fizički podražaj.

Osim što daje dublje razumijevanje u QoE, psihofiziološka procjena nije ograničena samo na laboratorijske pokuse nego je moguće uz pomoć nabavke podataka iz mnoštva sakupiti podatke iz različitih grupa subjekata. Npr. uz pomoć senzora na pametnim telefonima, pametnim satovima ili fitness trackerima moguće je mjeriti ili aproksimirati subjektive psihofiziološke signale. Pomoću prednjih kamera na pametnim telefonima moguće je pratiti subjektive pokrete oka i tako proučiti koji dijelovi određene aplikacije su najviše zainteresirali subjekta a koje je ignorirao. Uz druge senzore poput mjerenja otkucaja srca moguće je i pratiti subjektivno uzbuđenje ili nezainteresiranost za određen sadržaj u danoj aplikaciji. Svi ti podaci mogu se analizirati i uz pomoć njih dodatno poboljšati QoE.

## 5.5 QoE modeliranje svjesnim podacima (*Data-Aware QoE Modeling*)

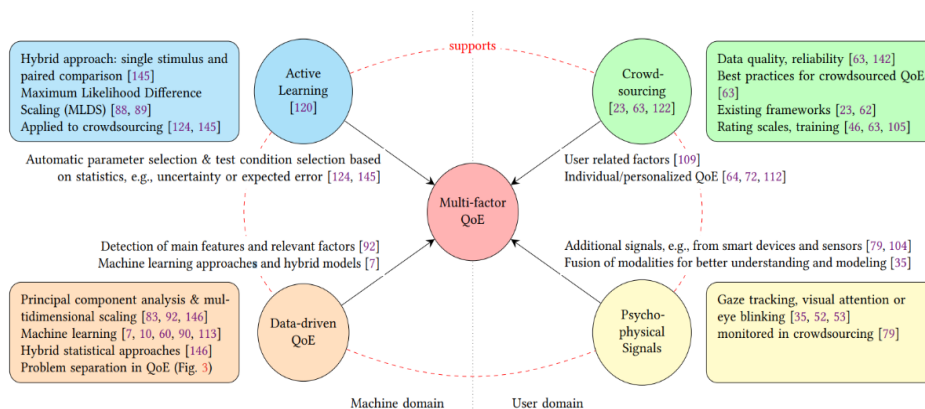
Kako bi se moglo nositi s velikim faktorskim prostorom koji se nalazi u QoE modeliranju, pojavila se ideja upravljanja QoE-om svjesnog podatka. U ovom slučaju QoE model se izvodi korištenjem principala analiza komponenti (PCA- *Principal Component Analysis*) za korelaciju QoE i QoS na temelju značajki podataka. PCA pristup transformira skup opažanja potencijalno koreliranih vrijednosti u skup linearno nekoreliranih varijabli koje se nazivaju glavne komponente. Međutim, glavne komponente mogu biti teške za razumjeti i moći kombinirati različite QoE čimbenike utjecaja i QoS parametre koji djeluju različite modalitete (npr. audio i video).

Drugi pristup izdvajanja značajki iz skupa podataka je višedimenzionalno skaliranje (MDS- *Multidimensional Scaling*) rezultata sličnosti parova podražaja. Ključna ideja MDS-a je transformirati podatke u udaljenosti između točaka koje predstavljaju percepciju događaja u

prostoru. Npr. PCA se može koristiti da bi se pronašao utjecaj QoS parametara na razini aplikacije i mreže i njihov utjecaj na QoE za video streaming u bežičnim mrežama, pri čemu su prve dvije glavne komponente objašnjavale više od 80% varijabilnosti u skupu podataka.

## 5.6 Sažetak novih pristupa za izvođenje QoE modela.

Slika sažima pojavu pristupa za izvođenje QoE modela. Uzimamo u obzir 'korisničku domenu', tj. koliko su podaci subjektivni prikupljeni prilikom masovnom prikupljanja i obogaćenih dodatnim informacijama i psihofiziološkim signalima. U 'strojnoj domeni' pojavljuju se aspekti QoE-a koji se temelje na podacima i razmatraju kako otkriti glavne značajke i koristiti strojno učenje za modeliranje prostora parametara velikih razmjera. Ograničenje mnogih trenutnih QoE modela je zanemarivanje konteksta i ljudskih čimbenika, koji se mogu pripisati na činjenicu da je takve podatke teško prikupiti ili ih je teško ugraditi u QoE modele na točan način. Nabava iz mnoštva omogućuje nove modele uzimajući u obzir čimbenike povezane s korisnikom (npr. demografija, očekivanja, starost) u različitim realnim kontekstima. Kombiniranje pristupa u nastajanju iz korisničke i strojne domene obećavajući je put prema više faktorskim QoE modelima.



Slika 6. Sažetak novih pristupa za izvođenje QoE modela

Izvor: (Literatura 22.)

## 6 ZAKLJUČAK

Višeslužne mreže omogućavaju prijenos više vrsta usluga preko iste infrastrukture i označavaju velik pomak od prijašnjih mrežnih infrastruktura koje su bili zasebno rađene za svaku od usluga koje su morale provoditi. Danas je najveća takva mreža Internet koji predstavlja bitnu ulogu u poslovnom i privatnom životu svakog čovjeka. Taj nagli razvoj i adaptacija višeslužnih mreža su sa sobom ponijela i potrebu za praćenjem i unapređenjem kvalitete usluge za sve više različitih aplikacija i njihovih korisnika. Razvijeni su razni mehanizmi i metrike koji su omogućavali praćenje i optimizaciju fizičkih karakteristika mreže. Uvodom QoS-a standardizirana je kvaliteta koju određena usluga mora provoditi da bi se objektno zadovoljstvo korisnika danom uslugom povećalo. S daljnjim razvojem mreža i povećanjem konkurencije korisnicima je sve više postajalo značajno i njihov subjektivni dojam o danoj usluzi, i tako je sve više pažnje dano relativno novom pojmu iskustvenoj kvaliteti usluge QoE. Najviše problema u početku je bilo kako pravilno ocijeniti i zatim kvantificirati korisnikov doživljaj danom uslugom. Razni QoE modeli su uvedeni da bi pokušali riješiti taj problem. Početni nepouzdana laboratorijski testovi su zamijenjeni masovnim prikupljanjima podataka gdje dani korisnik koristi tu uslugu u svom okruženju, i na svojoj konfiguraciji a ne u nekom simuliranom okruženju koje može pokvariti njegov doživljaj usluge. Sve pametnija i automatiziranija rješenja se istražuju za analizu masovnih prikupljenih podataka (*active learning*) i sve se više ulaže u unapređenje iskustvene kvalitete korisnika usluge.

## 7 LITERATURA

1. Cisco Press, A Network Administrator's View of Multiservice Networks, Dostupno na: <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=426645>
2. Sara Pavin, (2016.). Metode i alati za provjeru i testiranje kvalitete usluge. *Završni rad*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
3. Sys.portal, Računalne mreže - OSI referentni model, Dostupno na: <https://sysportal.carnet.hr/node/352>
4. Mreze.layer-x, 1.1 ISO/OSI referentni model, Dostupno na: <http://mreze.layer-x.com/s010100-0.html>
5. Tech Target, TCP/IP, Dostupno na: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/TCP-IP>
6. Filip Bobanović-Čolić, (2020.). Session Initial Protocol (SIP). *Seminarski rad*. Sveučilište u Dubrovniku, Odjel za Elektrotehniku i Računarstvo
7. Sdx central, RTP Control Protocol (RTCP), Dostupno na: <https://www.sdxcentral.com/resources/glossary/rtp-control-protocol-rtcp/>
8. Definitions of terms related to quality of service , ITU-T E.800 (13.6.2016.)
9. Fortinet, What is Quality of Service (QoS) in Networking?, Dostupno na: <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/qos-quality-of-service>
10. Service Now, What is a service level agreement (SLA)?, Dostupno na: <https://www.servicenow.com/products/itsm/what-is-sla.html>
11. Paessler, IT Explained: Bandwidth, Dostupno na: <https://www.paessler.com/it-explained/bandwidth>
12. Keycdn, Network Latency - How It Impacts Your Web Performance, Dostupno na: <https://www.keycdn.com/support/network-latency>
13. Revo-brain, Jitter, Delay, Throughput, and Packet Loss for QoS, Dostupno na: <https://revo-brain.blogspot.com/2015/08/jitter-delay-throughput-packet-loss-in-qos.html>
14. DNS stuff, What Is Packet Loss? How to Fix High Packet Loss With the Best Network Tools, Dostupno na: <https://www.dnsstuff.com/reduce-packet-loss>
15. Obkio, How to Measure VoIP Quality & MOS Score (Mean Opinion Score), Dostupno na: <https://obkio.com/blog/measuring-voip-quality-with-mos-score-mean-opinion-score/>

16. Science Direct, Double Stimulus Continuous Quality Scale, Dostupno na:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/double-stimulus-continuous-quality-scale#:~:text=The%20DSCQS%20methodology%20is%20best,performs%20relative%20to%20the%20original.>
17. Wikipedia, Perceptual Evaluation of Audio Quality, Dostupno na:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Perceptual\\_Evaluation\\_of\\_Audio\\_Quality](https://en.wikipedia.org/wiki/Perceptual_Evaluation_of_Audio_Quality)
18. Opticom, PESQ, Dostupno na: <https://www.opticom.de/technology/pesq.php>
19. Wikipedia, Peak signal-to-noise ratio, Dostupno na:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Peak\\_signal-to-noise\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Peak_signal-to-noise_ratio)
20. Vernier, What are Mean Squared Error and Root Mean Squared Error?, Dostupno na:  
<https://www.vernier.com/til/1014>
21. Wikipedia, Structural similarity, Dostupno na:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Structural\\_similarity](https://en.wikipedia.org/wiki/Structural_similarity)
22. L. Skorin-Kapov, M. Varela, T. Hossfeld, K. Chen (2017.). A Survey of Emerging Concept and Challenges for QoE Management of Multimedia Services



## **8 PRILOZI**

### **8.1 Popis slika**

Slika 1. Arhitektura višeslužnih mreža .....	4
Slika 2: OSI model .....	5
Slika 3. Razlika između OSI modela i TCP/IP modela.....	7
Slika 4. SIP korisnički agent registrira se na SIP registar .....	9
Slika 5. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika.....	20
Slika 6. Sažetak novih pristupa za izvođenje QoE modela .....	24

### **8.2 Popis Tablica**

Tablica 1. Prikaz skale za određivanje kvalitete zvuka.....	16
---	----

## **IZJAVA**

Izjavljujem pod punom moralnom odgovornošću da sam završni rad izradio samostalno, isključivo znanjem stečenim na studijima Sveučilišta u Dubrovniku, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora *izv.prof.dr.sc.Adriane Lipovac*, kojoj se još jednom srdačno zahvaljujem.

Filip Bobanović-Ćolić