Analiza metoda objektivnog i subjektivnog mjerenja kvalitete usluge prijenosa videosadržaja

Boljun, Dean

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:119:718733

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dean Boljun

ANALIZA METODA OBJEKTIVNOG I SUBJEKTIVNOG MJERENJA KVALITETE USLUGE PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA METODA OBJEKTIVNOG I SUBJEKTIVNOG MJERENJA KVALITETE USLUGE PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA

ANALYSIS OF OBJECTIVE AND SUBJECTIVE METHODS FOR ASSESSMENT OF VIDEO STREAMING SERVICE

Mentor: dr. sc. Marko Matulin

Student: Dean Boljun, 0135222622

Zagreb, rujan 2015.

SAŽETAK

U ovom završnom radu analizirane su metode i modeli objektivnog i subjektivnog mjerenja kvalitete usluge prijenosa videosadržaja. Također, definirani su pojmovi kvalitete usluge i iskustvene kvalitete usluge. Pojmovi su pojašnjeni koristeći različite definicije međunarodnih institucija i stručnih organizacija. Nadalje, klasificirani su parametri kvalitete usluge, dok je kod iskustvene kvalitete usluge opisano njeno vrednovanje s posebnim osvrtom na multimedijalne usluge. Naposljetku, dan je prikaz modela za analizu kvalitete videosadržaja, kao i evaluacijski rezultati pojedinih modela.

KLJUČNE RIJEČI: višeuslužna mreža; kvaliteta usluge; iskustvena kvaliteta usluge; video na zahtjev; modeli procjene.

SUMMARY

In this thesis the analysis of objective and subjective methods and models for evaluation of video streaming service quality was conducted. The terms Quality of Service and Quality of Experience are defined using different definitions of international institutions and professional organizations. Furthermore, parameters of Quality of Service are classified; for Quality of Experience the evaluation process is explained with a special focus on multimedia services. Lastly, the thesis highlights the characteristics of evaluation models of video quality, as well as the evaluation results of particular models.

KEY WORDS: multi-service network; Quality of Service; Quality of Experience; Video on Demand; estimation models.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. KARAKTERISTIKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA 3

3. POJAM KVALITETE USLUGE I ISKUSTVENE KVALITETE USLUGE 6

3.1. Pojam kvalitete usluge 6

3.2. Klasifikacija QoS parametara 8

3.2.1. Zahtjevi za multimedijski promet 11

3.2.2. Definicija iskustvene kvalitete usluge - QoE 13

3.3. Vrednovanje iskustvene kvalitete 15

3.4. Korisničko iskustvo 17

4. ZNAČAJKE PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA 19

4.1. Vrste usluga prijenosa videosadržaja 19

4.2. Tipovi usluge, načini prijenosa i korišteni protokoli 20

4.2.1. Video na zahtjev 21

4.2.2. Videotelefonija i videokonferencija 22

4.2.3. Prijenos sadržaja visoke rezolucije – HD 24

5. OBJEKTIVNE METODE MJERENJA KVALITETE 26

5.1. Osnovni cilj i metode objektivnog mjerenja kvalitete 26

5.2. Modeli objektivne procjene kvalitete 27

5.3. Postupci objektivnih mjerenja kvalitete 28

6. SUBJEKTIVNE METODE MJERENJA KVALITETE 33

6.1. Metode jednostrukog podražaja (*Single Stimulus* - SS) 34

6.2. Metode dvostrukog podražaja (*Double Stimulus* - DS) 35

6.3. Usporedba metoda subjektivnog mjerenja kvalitete 37

7. ZAKLJUČAK 39

LITERATURA 40

POPIS KRATICA 44

POPIS SLIKA 46

POPIS TABLICA.....47

1. UVOD

Razvoj tehnologije telekomunikacija, primjena naprednih tehnika procesiranja, pohrane i prijenosa digitalnih informacija stvorio je informacijski veliko umreženo društvo između kojega se svakodnevno generira, razmjenjuje i pohranjuje velika količina vizualnog sadržaja. Vrlo je važno očuvanje kvalitete vizualnog sadržaja, kod kojega prilikom prijenosa, pohrane i obrade može doći do gubitka bitnih svojstava ključnih za percepciju, ali i (ne)zadovoljstva od strane krajnjih korisnika. Kako bi se odredila granica kvalitetom prihvatljivog sadržaja, a stupanj izobličenja sveo na prihvatljivu razinu, određuju se kriteriji i primjenjuju postupci koji pružaju mogućnost korekcije i verifikacije sadržaja. Stoga, za određivanje stupnja izobličenja koriste se postupci koji se dijele na objektivne i subjektivne metode mjerenja kvalitete usluge prijenosa videosadržaja.

Tema završnog rada je **Analiza metoda objektivnog i subjektivnog mjerenja kvalitete usluge prijenosa videosadržaja**. Materija završnog rada izložena je u sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Karakteristike višeuslužnih mreža
3. Pojam kvalitete usluge i iskustvene kvalitete usluge
4. Značajke prijenosa videosadržaja
5. Objektivne metode mjerenja kvalitete
6. Subjektivne metode mjerenja kvalitete
7. Zaključak.

U drugom poglavlju objasnit će se proces transmisije i usmjeravanja, komutacije kanala i komutacije paketa. Pisat će se o karakteristikama višeuslužnih mreža, pojasnit će se njihov razvoj i primjena koja će biti opisana na klasičnom primjeru, a to je Internet mreža. Također, u ovom poglavlju osvrnut će se i na arhitekturu današnje višeuslužne mreže i pojasniti će se IP (eng. *Internet Protocol*) protokol.

Pojam kvalitete usluge QoS (eng. *Quality of Service*) i iskustvene kvalitete usluge QoE (eng. *Quality of Experience*) bitan je dio ovoga rada gdje će se definirati ti pojmovi uporabom ITU (eng. *International Telecommunication Union*) referenci i ISO (eng. *International*

Standards Organization) standarda. Istaknut će se sličnosti i razlike ovih dvaju koncepata. Klasificirati će se QoS parametri prikazom tablica kategorizacije, performansi i raznih zahtjeva različitih usluga. Definirati će se QoE, parametri iskustvene kvalitete, utjecajni faktori na zadovoljstvo korisnika, vrednovanje iskustvene kvalitete, te samo korisničko iskustvo.

Značajke prijenosa videosadržaja poglavlje je u kojem će se analizirati prijenos videosadržaja ovisno o vrsti usluge, tj. strujanje videosadržaja, video na zahtjev, prijenos videosadržaja u visokoj rezoluciji i sl. Također opisati će se i tipovi usluge, načini prijenosa i korišteni protokoli.

U petom i šestom poglavlju navest će se i opisati metode objektivnog i subjektivnog mjerenja kvalitete usluge prijenosa videosadržaja. Analizirat će se modeli mjerenja kvalitete poput "*full reference*", "*reduced reference*" i "*no reference*", postupci poput PSNR (eng. *Peak Signal to Noise Ratio*), MSE (eng. *Mean Squared Error*) itd., kod objektivnih metoda mjerenja, dok će se kod subjektivnih metoda mjerenja kvalitete opisati metode jednostrukog (SS – eng. *Single Stimulus*) i dvostrukog podražaja (DS – eng. *Double Stimulus*).

2. KARAKTERISTIKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA

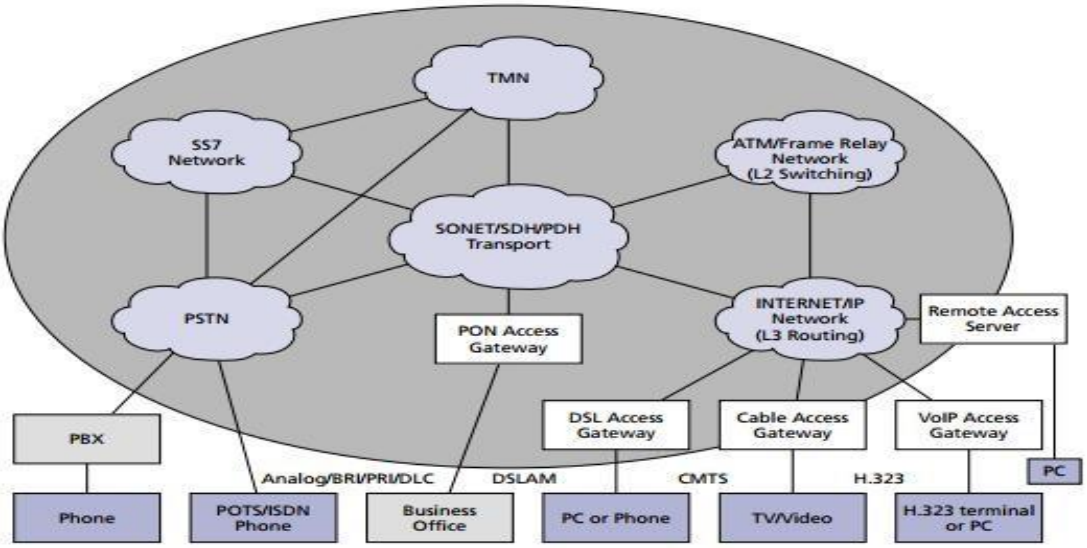
Razvoj nove generacije širokopojasnih telekomunikacijskih mreža odvija se u pravcu višeuslužnih mreža u kojima su integrirane raznovrsne usluge poput prijenosa govora, korištenja podatkovnih aplikacija, prijenosa pokretne i nepokretne slike, te multimedijskih usluga. Ključni preduvjeti za razvoj višeuslužnih mreža jesu stvaranje uvjeta za pouzdan i siguran rad mreže kroz implementaciju odgovarajućih mehanizama upravljanja, kontrole i zaštite i osiguranje različitih razina kvalitete usluge (QoS), uz optimalno iskorištenje resursa mreže.

Višeuslužna mreža MSN (eng. *Multi Service Network*) definira se kao mreža dizajnirana za prijenos prometa više od jedne vrste aplikacija. U suprotnosti je s klasičnim mrežama ili mrežama koje omogućuju samo jednu vrstu usluge, primjer je telefonska mreža koja prenosi samo jednu aplikaciju, tj. govor. Iako se putem telefonskih sustava može prenositi internetski promet, ti se sustavi ne smatraju višeuslužnom mrežom iz razloga što nisu dizajnirani s tom namjerom. Na slici 2.1 prikazana je arhitektura današnje višeuslužne mreže.

Internet temeljen na IP protokolu klasičan je primjer jedne MSN mreže. Prijenosom podataka IP paketima omogućeno je bolje iskorištenje kapaciteta kanala, što vodi pojavljivanju novih usluga koje razvijaju operateri i davatelji usluga. Danas korisnici u ponudi, osim telefonije, imaju mnoštvo novih usluga poput videotelefonije, internetske televizije/radija/telefonije, usluge u oblaku (eng. *cloud services*), dijeljenje multimedijalnih sadržaja, *online* pohrana podataka itd. Već niz godina navedene usluge dostupne su u fiksnoj i mobilnoj mreži te na različitim uređajima i platformama (pametni telefoni i televizori, tableti i dr.).

Na ulazu u višeuslužnu mrežu izvorišna poruka, odnosno korisnička informacija, dijeli se u segmente odgovarajućeg formata. Svakom segmentu dodaje se upravljačka informacija. Segmenti formirani na taj način nazivaju se paketi. Tada se svaki paket sastoji od korisničkog dijela (eng. *user part*) i upravljačkog dijela (eng. *control part*). Upravljački dio se sastoji od informacije potrebne za prijenos paketa, informacije o usmjeravanju odnosno odredištu te informacije na osnovi koje se rekonstruira korisnička informacija na odredištu. Paketi se usmjeravaju prema komutacijskim čvorovima ili prema korisniku na način da prijenosni put svih paketa ne mora biti isti, odnosno, svaki paket može neovisno doći do istog odredišta. Ovisno o vrsti konekcije koja može biti pristup virtualne veze koji uspostavlja spojni put i

datagramski pristup komutaciji paketa gdje nema uspostave spojnoga puta, određuje se da li se uspostavlja spojni put prije slanja paketa.



Slika 2.1. Prikaz arhitekture današnje višeuslužne mreže, [3]

Paketi mogu biti fiksne ili varijabilne duljine ovisno o korištenoj tehnologiji za prijenos i komutaciju. Kod ovakvog načina prijenosa i komutacije informacija na raspolaganju je cijela pojasna širina za slanje svih paketa, ali u ovisnosti o zahtijevanoj kvaliteti usluge. Prednosti komutacije paketa jesu mogućnost ponovnog slanja paketa u slučaju pogreške, učinkovitija upotreba mrežnih resursa (više korisnika istovremeno koristi raspoložive resurse), paketi imaju alternativne puteve do odredišta. Osnovni nedostatak moda prijenosa paket vezan je uz osiguranje, odnosno garanciju kvalitete usluge QoS. Kako bi se tada zadovoljila zahtijevana kvaliteta raznih usluga primjenjuju se razni mehanizmi poput ponovnog slanja paketa, ubacivanje tišine ili šuma, itd, [1].

Prolaskom IP paketa različitim mrežnim sekcijama različitih operatera i ISP-a (eng. *Internet Service Provider*), na putu od izvorišta do odredišta može doći do gubitka paketa ili kašnjenja u isporuci. U tom slučaju na odredišnoj strani moguća je lošija kvaliteta korištene usluge, što izravno utječe na zadovoljstvo korisnika. Prijenos informacija IP protokolom, troškovi izgradnje i održavanje mrežne infrastrukture, određena razina kvalitete usluge koja mora biti zadovoljena, sve to uz cijenu prihvatljivu za sve sudionike na telekomunikacijskom tržištu (operatore, davatelje usluga, davatelje sadržaja i krajnje korisnike), ključno je pitanje koje se nameće, [2].

Od svog izvorišta do odredišta, IP protokol ne omogućuje uspostavu spojnog puta kao ni pouzdanu dostavu IP datagrama. Dostava datagrama može u tom slučaju prolaziti kroz više raznih vrsta mreža, pa IP protokol iz tog razloga neće biti dovoljan, te je potrebno aktivirati ostale protokole mrežnog sloja poput ICMP (eng. *Internet Control Message Protocol*) kontrolnog protokola koji se koristi za dojavu pogreške ukoliko do nje dođe, te IGMP (eng. *Internet Group Management Protocol*) protokola mrežnog usmjeravanja koji se koristi prilikom prijave i odjave sučelja terminala primatelja. IP protokol bavi se adresiranjem izvorišnog i odredišnog terminala kao i fragmentacijom[1] i defragmentacijom[2], te specificiranjem vrsta usluga i dodatnih mogućnosti. IP ne vodi računa o stizanju datagrama na odredište, tj. ne provjerava pravilan redoslijed stizanja datagrama na odredište. Zaglavlje paketa koji se prenose IP protokolom, prikazano na slici 2.2, sastoji se od više polja koja definiraju vrstu usluge, duljinu zaglavlja i ukupnu duljinu datagraama, jedinstveni broj datagrama, kod za otkrivanje pogreške u zaglavlju, adresu izvora i odredišta datagrama itd.



Slika 2.2. Format datagrama IPv4, [4]

[1] Tehnika kojom se datagrami veći od maksimalno dozvoljenog broja bitova dijele u više manjih dijelova (fragmenata).
[2] Ponovno spajanje fragmenata na odredištu.

3. POJAM KVALITETE USLUGE I ISKUSTVENE KVALITETE USLUGE

3.1. Pojam kvalitete usluge

Razvoj i dostupnost tehnologija fiksnog i bežičnog širokopojasnog pristupa Internet mreži, omogućuje obogaćivanje ponude davatelja usluge prema krajnjim korisnicima. Danas davatelji usluga nude mnogo više od osnovnog skupa usluga, kao što su različiti paketi usluga koji grupiraju više vrsta usluga poput telefonije, pristupa Internetu, video na zahtjev, usluga televizije itd., te sve to treba biti korisniku cjenovno dostupno i prihvatljivo.

Mrežni operateri pružaju nosivu uslugu koja se učestalo obavlja korištenjem IP protokola što dovodi u pitanje osiguravanje potrebne razine QoS zbog karakteristika takvog prijenosa, kao što je napomenuto u prethodnom poglavlju ovoga rada. Pojam QoS često je rabljen u literaturi, no mnogi autori ističu njegovu nedefiniranost, [2].

Opća definicija kvalitete, prema ISO 8402, glasi *„ukupnost karakteristika entiteta koje se odnose na njegovu sposobnost da zadovolji iskazane i implicirane zahtjeve'',* [5]. Nadalje, u ISO 9000 kvaliteta je definirana kao *„stupanj do kojeg naslijeđene karakteristike* ispunjavaju *zahtjeve'',* [6]. ITU u preporuci E.800, [10] definira kvalitetu usluge kao *„združeni efekt performansi usluge koji određuje razinu zadovoljstva korisnika tom uslugom''*, [8], dok je prema preporuci X.902, QoS *„skup zahtjeva u pogledu kvalitete kolektivnog ponašanja jednog ili vise objekata'',* [9].

QoS u ATM leksikonu (eng. ATM *Lexicon*) definira se kao *"termin koji se odnosi na skup parametara za opis ATM performansi koje karakteriziraju promet na promatranom virtualnom putu".* QoS parametri odnose se uglavnom na protokole nižih slojeva i obuhvaćaju parametre kao što su razina gubitka ćelija, broj pogrešnih ćelija, razina pogrešno ubačenih ćelija, kašnjenje u transferu ćelija, varijacija kašnjenja u transferu ćelija itd. Definirano je pet klasa usluga koje se odnose na QoS parametre. Klasa 0, npr. odnosi se na tzv. *"best effort"* usluge za koje se ne definiraju posebni parametri prometa, a nisu ni osigurane potrebne QoS garancije.

Analiza QoS-a u ATM mrežama obuhvaćena je i dokumentima IETF *(*eng. *Internet Engineering Task Force)* grupe. U dokumentu RFC 1946 navodi se: *"S porastom zahtjeva za mrežnim uslugama u realnom vremenu, pojavila se i potreba za omogućavanjem tzv. determinističkih usluga. Takve determinističke usluge podrazumijevaju da aplikacija i mrežna infrastruktura imaju mogućnost definiranja zahtjeva, uspostave i osiguranja potrebne kvalitete prijenosa poruka. U širem smislu, ove usluge se odnose na rezerviranje propusnog opsega i realizacije QoS zahtjeva".*

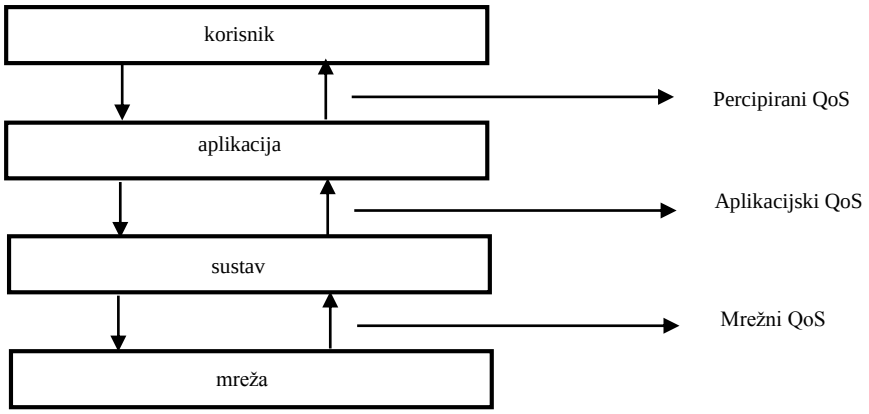
Jedna od definicija QoS-a koja se može naći u [11] je sljedeća: *"QoS predstavlja skup takvih kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika distribuiranog multimedijskog sustava koji je potreban za realiziranje željene funkcionalnosti aplikacije".*

U dokumentu Foruma za multimedijske komunikacije, pod oznakom MMCF/95-010 [12], opisani su QoS zahtjevi za aplikacije, mreže i usluge u multimedijskim telekomunikacijama. U ovom dokumentu se QoS definira kao *"skup karakteristika usluge koje određuju razinu zadovoljstva korisnika ponuđenom telekomunikacijskom uslugom".* QoS u ovom slučaju određen je faktorima koji se odnose na uslugu, a to su karakteristike operabilnosti usluge, karakteristike pristupa usluzi, osiguranje podrške usluzi, karakteristike integriteta usluge. Na osnovu skupa parametara koji su objektivno izmjerljivi definira se QoS. Skup relevantnih parametara te njihove vrijednosti koje odgovaraju prihvatljivom QoS-u, u velikoj mjeri ovise o vrstama multimedijskih aplikacija i njihovih namjena.

Faktori koji određuju QoS definiran na ovaj način jesu: osiguranje podrške usluzi, karakteristike operabilnosti usluge, karakteristike pristupa usluzi, karakteristike integriteta usluge. Na osnovu skupa parametara objektivno izmjerljivih definira se QoS. Vrijednosti skupa relevantnih parametara koji odgovaraju prihvatljivom QoS-u, značajno ovise o vrsti multimedijske aplikacije i njene namjene. Može se izdvojiti nekoliko značajnih elemenata za realizaciju QoS-a u multimedijskim mrežama poput razumijevanja karakteristika multimedijskog prometa u cilju definiranja i implementacije QoS zahtjeva, translacije između QoS parametara koja podrazumijeva raspodjelu sustavskih i mrežnih resursa ili uspostavljanja odgovarajuće QoS arhitekture koja može osigurati potrebne QoS garancije za realizaciju multimedijske aplikacije.

3.2. Klasifikacija QoS parametara

Kompleksnost QoS problema promatra se u postojanju razlika između aplikacijskih i mrežnih QoS parametara. Važan element u analizi predstavlja translacija korisničkih/aplikacijskih QoS parametara kao što su kvaliteta videosignala koja se opisuje brzinom prijenosa *frame-ova* (30 frame-ova/s), veličinom frame-a (visina × širina izraženo u pikselima), bojom (bita/pikselu) itd., u mrežne QoS parametre poput protoka (npr. veličina paketa, propusni opseg, ″usnopljivost″), karakteristike prometa (npr. gubitak paketa, *jitter*, kašnjenje ″od kraja do kraja″) i karakteristike performansi (korekcija grešaka, fragmentacija i dr.), koja je podosta kompleksna s obzirom na nepotpuna saznanja o percepcijskim karakteristikama korisnika aplikacije, a za cilj ima translaciju aplikacijskih QoS parametara u one parametre koji opisuju protokole, sustav i mrežu. Proces translacije, odnosno mapiranja predstavljen je na slici 3.1, [13].



Slika 3.1. Translacija QoS parametara, [13]

Razlikuju se parametri kvalitete medija i relacijski parametri. Parametri kvalitete medija mogu se podijeliti na tzv. *″interframe″* i *″intraframe″* parametre. Prva grupa parametara opisuje karakteristike homogenog niza medija (npr. veličina uzorka, brzina uzorkovanja, tolerancije u pogledu gubitaka i dr.). *″Intraframe″* parametri omogućavaju opis razlike u kvaliteti pojedinih uzoraka medija. Primjer relacijskog parametra je vremenski pomak između dva medija (npr. audio i video-signala).

Rješavanje problema QoS upravljanja u multimedijskim telekomunikacijama zasniva se na pronalaženju efikasne raspodjele mrežnih resursa, uz ostvarenje QoS zahtjeva i visoke

razine iskorištenja resursa. U tablici 3.2 predstavljene su razine QoS performansi, s odgovarajućim karakteristikama u smislu pouzdanosti QoS realizacije i rezultirajuće razine iskorištenja resursa.

Garantirani QoS se obično dobiva analizom tzv. *"worst-case"* prometa i rezervacijom resursa potrebnih za osiguranje zahtjevanog QoS-a, čak i pod najnepovoljnijim uvjetima u mreži. Ovaj tip QoS performansi, u općem slučaju, ima malu razinu iskorištenja resursa zbog izolacije resursa. Statistički QoS se, u općem slučaju, ostvaruje formalnom analizom statističkog ponašanja prometa, sprječavajući na taj način QoS degradaciju ispod utvrđene determinističke razine. Predikcijski QoS ne zahtjeva detaljno modeliranje karakteristika izvora. Praćenjem postignute razine iskoristivosti resursa i QoS performansi, obavlja se adaptacija u skladu s promjenom uvjeta u mreži, kako bi se postigao zahtjevani QoS. Ovaj tip QoS performansi se primjenjuje samo kod aplikacija koje imaju mogućnost "oporavka" od potencijalnih QoS izobličenja. *"Best-effort"* QoS pristup nije pogodan za distribuirane multimedijske mreže, jer ne uzima u obzir specifične zahtjeve aplikacije u smislu QoS performansi.

Tablica 3.1: Razine QoS performansi, [7]

RAZINA QOS PERFORMANSI	**REALIZACIJA ZAHTJEVANOG QOS PARAMETRA Q**	**QOS POUZDANOST**	**ISKORIŠTENJE RESURSA**
garantirana	Q je garantiran	velika	malo
statistička	mala vjerovatnost da Q neće biti realiziran	velika	malo
predikcijska	mreža pokušava osigurati Q, uz mogućnost neuspješnih pokušaja	velika	malo
"*best-effort*"	Q se ignorira pri osiguranju usluge	mala	veliko

Sve multimedijske aplikacije u realnom vremenu su osjetljive na kašnjenje. Iako je uvijek poželjno da se osigura malo prosječno kašnjenje, parametar koji je od većeg značaja za ovu vrstu aplikacija jest tzv. "granično kašnjenje", maksimalno kašnjenje segmenata poruka u mreži. Ovaj parametar se razlikuje ovisno od vrste aplikacije i mrežnog okruženja. Tako je, npr. za neinteraktivni video-prijenos u realnom vremenu dozvoljeno veće mrežno kašnjenje nego u slučaju interaktivnih aplikacija.

Ukoliko u mreži postoji zagušenje u prometu, pojedini dijelovi poruke se odbacuju zbog preopterećenja *buffer*-a ili zbog prekoračenja vrijednosti graničnog kašnjenja. Odbacivanje dijelova poruke direktno utječe na kvalitetu prezentacije na prijemnom kraju. Multimedijske aplikacije mogu imati različite tolerancije kada se radi o gubitku dijelova poruke. Jedan od razloga je taj što različite aplikacije imaju i različite zahtjeve u pogledu subjektivne kvalitete. Također, predložene su i različite sheme da bi se poboljšala zaštita od grešaka ili gubitaka u prijenosu poruka. Neke od shema, koje se odnose na prijenos video-signala, koriste zaštitu na bazi prioriteta kao i slojevito kodiranje, strukturnu paketizaciju, robusne tehnike kodiranja/dekodiranja i dr.

Jitter predstavlja varijaciju kašnjenja u mreži, a nastaje kada segmenti multimedijske poruke (npr. paketi) imaju različito kašnjenje duž putanje prijenosa u mreži. Posljedica *jitter*-a je potreba da se poveća kapacitet *buffer*-a u prijemniku kako bi se zadržali pristigli paketi i sačekali oni koji imaju veće kašnjenje. Propusnost je jedan od najznačajnijih QoS parametara u višeuslužnim mrežama, jer je direktno povezan s mogućnostima mreže u smislu aplikacija koje može podržati. U nastavku su date vrijednosti spomenutih parametara u ovisnosti o vrsti i karakteristikama multimedijskih aplikacija.

U tablicama 3.2 i 3.3 predstavljeni su tipični QoS parametri za prijenos zvuka i video-prijenos.

Tablica 3.2: QoS zahtjevi za prijenos zvuka, [7]

QOS PARAMETAR	***OPSEG***	***OPIS***
kašnjenje "od kraja do kraja"	0-150 ms 150-400 ms	prihvatljivo za većinu aplikacija degradacija kvalitete kod nekih aplikacija
gubitak paketa	$\leq 10^{-2}$	telefonija
propusni opseg	16 kb/s 32 kb/s 64 kb/s 128 kb/s 192 kb/s	telefonija zvučna konferencija CD – kvaliteta zvuka komprimirani MPEG zvuk
brzina odmjeravanja	8 kHz 16 kHz	telefonska kvaliteta govora CD zvučna kvaliteta

Tablica 3.3.: QoS zahtjevi za video-prijenos, [7]

QOS PARAMETAR	*OPSEG*	*OPIS*
bitska brzina	64 kb/s – 2M b/s 1-2 Mb/s 2-4 Mb/s 3-6 Mb/s 140-166 Mb/s 25-34 Mb/s 500 Mb/s ≥ 1 Gb/s	H.261 video-konferencijski sistemi MPEG-1 VCR kvaliteta MPEG-2 TV kvaliteta MPEG-2 komprimirana TV kvaliteta nekomprimirani TV HDTV, MPEG-2 kompresija HDTV, kompresija s gubicima HDTV, nekomprimirani
gubitak paketa	$\leq 10^{-2}$ $\leq 10^{-11}$	nekomprimirani video komprimirani video
kašnjenje ″od kraja do kraja″	250 ms 200 ms	video-telefonija JPEG video-prijenos
jitter	10 ms 5 ms	video-telefonija JPEG video-prijenos
faktor kompresije	2:1 50:1	HDTV, kompresija bez gubitaka HDTV, kompresija s gubicima

Vrijednosti kašnjenja u nekim multimedijskim aplikacijama predstavljene su u tablici 3.4.

Tablica 3.4.: Vrijednosti kašnjenja u nekim multimedijskim aplikacijama, [7]

MULTIMEDIJSKA PRIMJENA	*KAŠNJENJE*
ZVUK + TEKST ili SLIKA (veza "*point to point"*)	GRUBO KAŠNJENJE < 1 sec
ZVUK + VIDEO (veza "*multipoint – multipoint"*)	GRUBO KAŠNJENJE < 200 ms FINO KAŠNJENJE - zvuk unaprijed prema videu < 20 ms - video unaprijed prema zvuku < 120 ms
KOMPLEKSNA KONFERENCIJA zvuk + video + slika + tekst	GRUBO KAŠNJENJE < 200 ms FINO KAŠNJENJE - zvuk unaprijed prema videu < 20 ms - video unaprijed prema zvuk < 120 ms

3.2.1. Zahtjevi za multimedijski promet

Neophodno je precizno definiranje karakteristika izvora za opis izvora multimedijskog prometa, kako bi se osiguralo fleksibilno upravljanje mrežom i uslugama u smislu uspostave veze, QoS upravljanja, upravljanja zagušenjem u prometu, dodjele (alokacije) resursa itd.

Kvaliteta i efikasnost QoS upravljanja ovise u velikoj mjeri o prirodi multimedijskog prometa. Modeli za opis multimedijskog prometa rangiraju se po odgovarajućim grupama, od

onih s konstantnom bitskom brzinom (CBR, eng. *Constant Bit Rate*) do onih s promjenjivom bitskom brzinom (VBR, eng. *Variable Bit Rate*). VBR promet, koji karakterizira komprimirani audio/video prijenos, osjetljiv je na kašnjenje i ima osobine ″usnopljenog″ (eng. *bursty*) prometa.

Za statistički opis složenog i heterogenog multimedijskog prometa koristi se nekoliko modela, kao npr. Markovljevi modeli, frakcionalni Braunov model, BIND (eng. *Bounding Interval-Dependent*) model i dr.

Razlike između multimedijskog prometa i prometa u tradicionalnim mrežama prvenstveno se odnose na (tablica 3.5.):

- zahtjeve za prijenos kontinuiranih medija (audio i video prijenos) u realnom vremenu,
- znatno veće protoke pojedinih medija,
- distribuirano-orjentirane aplikacije.

U tradicionalnim telekomunikacijskim mrežama, npr. mrežama s paketskom komutacijom, osiguranje QoS-a je na kvalitativnoj osnovi, tj. promatrano je na bazi ukupnih mrežnih performansi. TCP/IP protokol je projektiran tako da se postigne ukupan optimalan mrežni promet, a ne da se osiguraju usluge na osnovu kvantitativnih QoS zahtjeva za svaku pojedinu aplikaciju. Izvor ne "obavještava" mrežu o svojim QoS zahtjevima prije početka prijenosa poruka, tako da mreža ne obavlja rezervaciju resursa za pojedine aplikacije.

Tablica 3.5: Usporedba karakteristika multimedijskog prometa i prometa u tradicionalnim mrežama, [13]

KARAKTERISTIKE	PROMET U TRADICIONALNIM MREŽAMA	MULTIMEDIJSKI PROMET
brzina prijenosa	mala	velika
osobine prometa	″usnopljeni″	izrazito ″usnopljeni″
zahtjevi za pouzdanost prijenosa	bez gubitaka	mali gubici
zahtjevi za latentno kašnjenje	nema	malo, npr. 20 ms
način komunikacije	točka-točka	multipoint
vremenska ovisnost prijenosa	nema	sinhronizirani prijenos

Multimedijske aplikacije u realnom vremenu ne toleriraju velike varijacije u pogledu kašnjenja i propusnog opsega. Stalni porast broja multimedijskih aplikacija zahtjevao je modifikaciju postojećih mrežnih protokola da bi se osigurali kvantitativni QoS parametri. Kao rezultat, započeto je nekoliko projekata koji su imali za cilj poboljšanje postojećih mrežnih protokola s mogućnošću QoS upravljanja, tj. verifikacije i održavanja željene razine kvalitete koje zahtjeva svaka pojedina aplikacija.

U ATM mrežnom okruženju, kada se uspostavi određeni put prijenosa, mreža uzima u obzir karakteristike prometa, zahtjevani QoS, kao i trenutno stanje u mreži, kako bi donijela odluku hoće li prihvatiti određeni zahtjev za vezom. Ukoliko se ovaj zahtjev prihvati, osigurava se zahtjevani QoS. U *frame relay*[3] mrežama također je omogućen izbor određene klase usluge pridružene *frame relay* logičkom linku. Karakteristike multimedijskih aplikacija u realnom vremenu jesu veća osjetljivost aplikacija, u pogledu QoS parametara u usporedbi s klasičnim aplikacijama, na kašnjenje i gubitak određenih segmenata poruke, iz razloga što ove aplikacija ne mogu koristiti standardne tehnike zaštite od izobličenja i grešaka u prijenosu, što se tiče mreže, ona mora osigurati potrebne resurse u kontinuitetu zbog velikog prometa u dužem vremenskom periodu generiranog od strane velikog broja multimedijskih aplikacija u realnom vremenu, te karakteristika "usnopljenosti" i nepredvidivosti multimedijskog prometa otežavaju proces dodjele potrebnih resursa.

3.2.2. Definicija iskustvene kvalitete usluge - QoE

Mjerenjem korisničkog zadovoljstva korištenjem određene usluge ili proizvoda bavi se relativno novi koncept koji se javlja u području telekomunikacija, iskustvena kvaliteta usluge. Korisničko iskustvo i zadovoljstvo korištenjem nekog proizvoda ili usluge istraživalo se dugi niz godina u različitim istraživačkim domenama, tek su nedavno dobila veću pozornost u telekomunikacijskim krugovima istraživanja oko iskustvene kvalitete. Iako se iskustvena kvaliteta istražuje već neko vrijeme (npr. iskustvena kvaliteta za audio/video), iskustvena kvaliteta vezana uz novije usluge je otvoreno područje istraživanja.

[3] Protokol za prijenos podataka. Koristi se kod povezivanja LAN, SNA, Internet, čak i „voice aplikacija".

Iskustvena kvaliteta korisnički je usmjeren koncept u multidisciplinarnom području koji pokušava ustanoviti i shvatiti korisničku percepciju kvalitete usluge kako bi se poboljšala samausluga i povećalo zadovoljstvo korisnika uslugom, za razliku od kvalitete usluge QoS koja je primarno tehnički orijentirana. Većina predloženih modela iskustvene kvalitete se temelje na određenom broju faktora koji utječu na percipiranu kvalitetu usluge od strane korisnika, a koji proizlaze iz sustava, konteksta korištenja usluge ili korisnika, [14].

Model za mjerenje iskustvene kvalitete koji bi vrijedio za sve (telekomunikacijske) usluge nemoguće je definirati zbog subjektivne prirode iskustvene kvalitete, ali je moguće odrediti i definirati pojedine modele za evaluaciju iskustvene kvalitete za različite tipove usluga.

Subjektivna mjera zadovoljstva krajnjeg korisnika korištenjem određenog proizvoda/usluge jest iskustvena kvaliteta. Koncept iskustvene kvalitete razvijen je u području telekomunikacija kao nadopuna kvalitete usluge QoS korisničkom perspektivom na korištenje usluge. Standardizacijsko tijelo ITU-T (eng. *International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*) u preporuci E.800 [8] definira kvalitetu usluge kao *"kolektivni utjecaj performansi usluge koji određuju stupanj zadovoljstva krajnjeg korisnika uslugom"*.

Zadovoljstvo krajnjeg korisnika uslugom ocjenjuje kvaliteta usluge na temelju tehničkih karakteristika usluge i kvantitativnih ocjena usluge od strane krajnjeg korisnika, pri tome zanemarujući velik broj subjektivnih faktora koji također utječu na percipiranu kvalitetu usluge od strane krajnjeg korisnika. Kvaliteta usluge trebala bi biti korisnički usmjerana, prema definiciji od strane ITU-T-a, sama istraživanja su bila uglavnom fokusirana na utjecaj tehničkih parametara na kvalitetu usluge, [14]. Što se tiče istraživanja o kvaliteti usluge na području telekomunikacija, ona su bila usmjerena na ispitivanja o utjecajima objektivnih, mjerljivih mrežnih parametara i karakteristike pružane usluge kao što su način kodiranja podataka, kašnjenje, gubitak paketa.

Pojam iskustvene kvalitete kao nove metrike povezane s korisničkim iskustvom i doživljajem prilikom korištenja telekomunikacijske usluge uvodi Moorsel [13]. Iskustvena kvaliteta razlikuje se od tradicionalne kvalitete usluge po subjektivnim utjecajima na korisnika koje kvaliteta usluge ne može izmjeriti. Pojam iskustvene kvalitete u istraživačkoj zajednici naglo se širi, što rezultira velikim brojem pokušaja (re)definiranja pojma iskustvene kvalitete,

te u području telekomunikacijskih usluga velikim brojem modela za mjerenje iskustvene kvalitete.

Standardizacijsko tijelo ITU-T tako proširuje preporuku E.800 [8] definirajući kvalitetu usluge kao *"sveukupnost karakteristika telekomunikacijske usluge koje zadovoljavaju potrebe krajnjeg korisnika te usluge"* te se obraća posebna pozornost na kvalitetu usluge percipiranu od strane korisnika (QoSP – eng. *QoS Perceived*). Standardizacijsko tijelo ITU-T u proširenju P.10 preporuke G.100 [16] definira iskustvenu kvalitetu kao *"sveukupnu prihvatljivost aplikacije ili usluge, subjektivno percipiranu od strane krajnjeg korisnika"*, a standardizacijsko tijelo ETSI kao *"mjerilo uspješnosti korištenja telekomunikacijske usluge ili proizvoda temeljeno na objektivnim i subjektivnim psihološkim mjerama"* [17].

Iskustvena kvaliteta u jednoj je od zadnjih predloženih definicija istraživačke zajednice kroz COST akciju QUALINET opisana kao *"stupanj zadovoljstva ili iritiranosti (eng. annoyance) korisnika aplikacije ili usluge; ona proizlazi iz njegovih očekivanja obzirom na korist i/ili uživanje u aplikaciji ili usluzi kao rezultat osobnosti korisnika i trenutnog stanja"* [18].

Na temelju navedenih definicija može se zaključiti da je došlo do pomaka u perspektivi kvalitete usluge kao samo tehnički orijentiranog koncepta prema multidimenzionalnom, konceptu usmjerenom prema korisniku koji osim dijela tehničkih performansi uzima u obzir i kontekst korištenja usluge (vrijeme, lokacija i dr.), ali i samog korisnika (očekivanja, iskustvo i dr.), čime nastaju složeni parametri iskustvene kvalitete.

3.3. Vrednovanje iskustvene kvalitete

Vrednovanje iskustvene kvalitete trebalo bi biti temeljeno na utjecajnim faktorima koji mogu biti kontrolirani i koji su mjerljivi. Subjektivno i objektivno vrednovanje iskustvene kvalitete korisnika dvije su različite metode za vrednovanje iskustvene kvalitete, [19].

Subjektivno vrednovanje iskustvene kvalitete provodi se na više načina, najčešći su anketiranje korisnika i subjektivna ispitivanja. Najraširenij oblik subjektivnog vrednovanja iskustvene kvalitete je provođenje subjektivnih ispitivanja u testnim okruženjima.

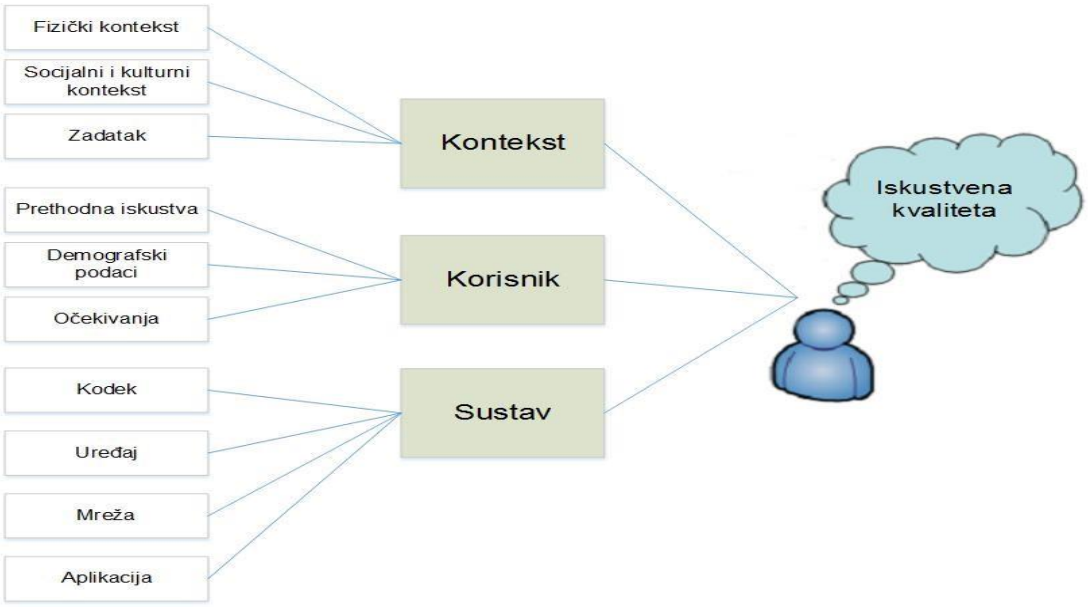
Manipulacija i kontrola nad parametrima omogućeni su detaljnim pregledom utjecaja parametara na iskustvenu kvalitetu korisnika. Uslijed ponavljanja ispitivanja može se povećavati stupanj pouzdanosti dobivenih rezultata iz razloga što se provođenjem eksperimenata više puta, vrlo jednostavno dolazi do potvrde zaključaka ispitivanja. Ovakvo vrednovanje iskustvene kvalitete pokazuje neke nedostatke, pa su tako rezultati istraživanja često nepouzdani iz razloga što uvjeti stvarnog okruženja u većini slučajeva ne odgovaraju uvjetima testne okoline. Što se tiče ispitivanja u kontroliranim uvjetima koja su u većini slučajeva dugotrajna i skupa, tada se provodi *crowdsourcing* [20], [21].

Vrijeme i troškovi istraživanja, te pouzdanost podataka dobiveni su na način vrednovanja iskustvene kvalitete putem *crowdsourcinga* kod kojega se podrazumijeva evaluaciju usluge sa strane povećeg broja Internet korisnika. MOS (eng. *Mean Opinion Score*) se najčešće koristi kod subjektivnih ispitivanja [22], to je ljestvica kvantificiranja korisničkog iskustva. Iz razloga što korisnici u većini slučajeva imaju različite interpretacije ocjena, a ponekad i oba korisnika isto ocijene različita iskustva, takva ljestvica nije najbolje rješenje za vrednovanje iskustvene kvalitete.

Nemoguća je kvantifikacija ocjene kvalitete usluge s aspekta subjektivne iskustvene kvalitete iz razloga što korisnici u većini slučajeva izražavaju (ne)zadovoljstvo uslugom opisima kao što su loše, dobro, izvrsno, itd. Što se tiče aspekta korisnika, ni on ponekada nije u stanju kvalitativno opisati zadovoljstvo korištenom uslugom. To je razlog da se često iskustvena kvaliteta usluge nastoji vrednovati pomoću modela i objektivnih mjerenja. Ocjena iskustvene kvalitete dobivene objektivnim mjerenjem ima svoju pouzdanost koja ovisi o definiciji pravilnog modela za određenu uslugu. Kod definiranja pouzdanog modela vrednovanja iskustvene kvalitete potrebni su mjerljivi parametri koji utječu na iskustvenu kvalitetu korisnika, te su vezani uz različite dijelove usluge i različiti za svaku uslugu. ITU predlaže podjelu utjecajnih faktora na objektivne faktore koji se odnose na kvalitetu usluge (npr. parametri usluge i mreže) i subjektivne, tj. ljudske faktore (npr. korisnička očekivanja, emocije), [23]. Sustavan pregled utjecajnih faktora na kvalitetu usluge i iskustvenu kvalitetu prilikom interakcije čovjeka i računala (eng. *Human-Machine Interaction* - HCI) prikazan je u radu Möllera i ostalih u [24].

Na slici 3.2. ovisno o području usluge uz koji su vezani, definirani su utjecajni faktori podijeljeni u tri skupine: faktori sustava (sve karakteristike sustava koje utječu na iskustvenu kvalitetu korisnika), korisnički faktori (sve karakteristike korisnika koje utječu na njegovu

subjektivnu ocjenu kvalitete usluge) i kontekstni faktori (trenutni faktori iz okoline i sustava prisutni za vrijeme korištenja usluge). Još jedna dodatna skupina utjecajnih faktora vezanih uz poslovni dio usluge, poslovni faktori poput cijene i popusta koji imaju veliku ulogu u formiranju korisničkog (ne)zadovoljstva uslugom.



Slika 3.2. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika, [14]

3.4. Korisničko iskustvo

Sve aspekte vezane uz način na koji korisnik koristi proizvod, obuhvaća korisničko iskustvo: "Način na koji ga osjeća u rukama, koliko razumije način njegovog funkcioniranja, kako se osjeća kada ga koristi, koliko dobro služi svojoj svrsi te koliko se dobro uklapa u cijeli kontekst u kojem se koristi."[25]. Drugačije rečeno, korisničko iskustvo prema [26] je *"posljedica unutrašnjeg stanja (predispozicija, očekivanja, potreba, motivacija), karakteristika dizajniranog sustava (kompleksnosti, svrhe, korisnosti, funkcionalnosti) konteksta u kojem se interakcija odvija (organizacijsko i društveno okruženje, značenje aktivnosti)"*. Standardizacijsko tijelo ISO pojam korisničko iskustvo definira kao *"subjektivnu percepciju krajnjeg korisnika vezanu uz korištenje određene usluge ili proizvoda"* [27]. Korisničko iskustvo i iskustvena kvaliteta su dva bliska koncepta koja se često poistovjećuju. Iako prilikom korištenja proizvoda oba koncepta proučavaju i istražuju iskustvo korisnika, postoje bitne razlike među njima.

Jedan od glavnih zaključaka u opširnom istraživanju Lawa i ostalih [28], o razumijevanju pojma korisničkog zadovoljstva u istraživačkoj zajednici je da se ne dizajnira korisničko iskustvo prilikom osmišljavanja usluge/proizvoda, nego se dizajnira za (poboljšanje) njega. Iako je kod iskustvene kvalitete naglasak na kvantitativnim metodama evaluacije, velik broj kvalitativnih metoda za mjerenje i evaluaciju kojima se pokušava bolje razumijeti i tumačiti motivacija prihvaćeno je i koristi se od strane korisničkog iskustva, pod time smatramo emocionalno stanje i želje korisnika prilikom korištenja usluge.

4. ZNAČAJKE PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA

4.1. Vrste usluga prijenosa videosadržaja

Usluge kojima se prenosi pokretna slika odnosno video, zovu se video aplikacije. Razne vrste video aplikacija ponajviše se razlikuju po simetriji/asimetriji u prijenosu, zahtijevanoj širini prijenosnog pojasa te otpornosti na kašnjenje i varijacije kašnjenja. S obzirom na navedeno, video aplikacije dijele se na:

- video na zahtjev (VoD, eng. *Video on Demand*),
- videotelefonija i videokonferencija,
- prijenos videa strujanjem (eng. *video streaming*).

Svaki video određen je rezolucijom (horizontalni * vertikalni broj piksela), brojem bitova potrebnih za prezentaciju boje i brojem sličica u jedinici vremena (fps, *frames per second*). Zahtijevana širina prijenosnog pojasa dobiva se jednostavnim proračunom navedenih karakteristika:

$$1024 \times 768 \times 24 \times 30 = 566231040 \left[\frac{bit}{s}\right],$$

U navedenom primjeru 1024*768 je rezolucija videa, 24 je broj bita potrebnih za prezentaciju jednog piksela boje i 30 je broj sličica po sekundi. Komprimiranje video aplikacija potrebno je iz razloga što za prijenos nekomprimiranog videa je potrebna velika širina prijenosnog pojasa. Skup algoritama koje je moguće implementirati kao *software* ili *hardware,* zapravo je video kompresija. Mjerenjem kvalitete prenesenog videa i količine zahtjevanog prijenosnog pojasa dobija se uspješnost pojedinog algoritma. Kompresije videa dijele se na dvije metode, a to su: kompresija primijenjena između sličica iste sesije (svakom sljedećom sličicom šalju se samo promjene s obzirom na onu prethodnu, tzv. *Interframe*) i kompresija svake sličice zasebno (tzv. *Intraframe*).

Neke od *Interframe* kompresija:

- MPEG1: kompresija optimizirana za kapacitet pojasa 1.5 Mbps.

- MPEG2: optimizirana za kapacitete pojasa od 4 do 9 Mbps, koristi se za prijenos visoko kvalitetnog TV difuzijskog signala.
- MPEG4: zahtjeva malu širinu pojasa (64 kbps), dobar odabir za videokonferencije.

Najpoznatiji algoritmi za *Intraframe* kompresiju:

- M-JPEG: video prometni tok prenosi se kao slijed JPEG komprimiranih sličica.
- Apple Video: algoritam implementiran u Apple Quicktime (videokonferencijska aplikacija).

Smanjenje zahtijevanog prijenosa pojasa može se, osim kompresijom videa, postići i tehnikom manipulacije snimljenog videa (eng. *video capture manipulation*). Smanjenje pojasa kod ove metode postiže se smanjivanjem kvalitete videa, smanjivanjem rezolucije broja bitova koji koriste prezentaciji boje i broja sličica u jedinici vremena, [48].

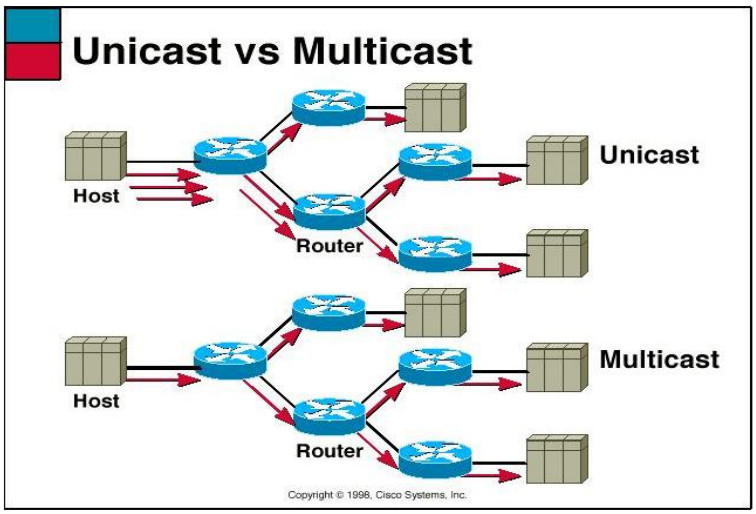
4.2. Tipovi usluge, načini prijenosa i korišteni protokoli

Poseban način prijenosa sadržaja pri kojem se on reproducira odmah nakon primitka predstavlja pojam strujanja zvuka ili videa. Postoje dva osnovna tipa usluge strujanja videosadržaja: a) strujanje videosadržaja uživo i b) strujanje videosadržaja na zahtjev. Ukoliko se strujanjem prenose neki sportski događaji, koncerti, skupovi i sl., biti će riječ o a), dok će se prilikom prijenosa videosadržaja koji je već pohranjen na *streaming* poslužitelju i može se njime tokom sesije upravljati (pauzirati, preskakati unaprijed ili unazad), raditi o b) strujanju videosadržaja na zahtjev.

Potrebno je razlikovati uslugu strujanja videosadržaja od usluge video na zahtjev (VoD, eng. *Video-on-Demand*) iz razloga što za vrijeme *streaming* sesije, korisnik sadržaj gleda prije nego li ga u potpunosti preuzme, a kod VoD usluge sadržaj se u cjelosti mora pohraniti na korisničkoj strani kako bi se omogućila reprodukcija.

Kako je prikazano na slici 4.1, videosadržaj može se, ovisno o načinu prijenosa videosignala do korisnika, prenositi strujanjem *unicast* ili *multicast* načinom. Prilikom korištenja *unicast* načina prijenosa, svakom pojedinom korisniku odašilje se zasebna kopija sadržaja. *Multicast* način prijenosa efikasniji je iz razloga što se jedna kopija sadržaja odašilje

jednoj *multicast* grupi korisnika, no nedostatak takvog načina prijenosa jest taj što se gubi funkcija upravljanja videosadržajem od strane korisnika.



Slika 4.1. *Unicast* i *Multicast* način prijenosa, [30]

Najčešće upotrebljavani protokol aplikacijskog sloja RTSP (eng. *Real Time Streaming Protocol*) kontrolni protokol posebno dizajniran za stvarnovremenske prijenose video i audio sadržaja najčešće je upotrebljavani protokol aplikacijskog sloja za uslugu prijenosa videosadržaja strujanjem. Protokol je standardiziran od strane IETF u [31].

RTSP protokol često se opisuje kao „daljinski upravljač'' korisnika iz razloga što korisnicima omogućuje upravljanje reproduciranim sadržajem (pauziranje, preskakanje unaprijed ili unazad). Najčešće rabljeni protokol na transportnom sloju, budući da se radi o specifičnom načinu isporuke sadržaja, jest UDP (eng. *User Datagram Protocol*) koji spada u skupinu beskonekcijskih protokola i ne jamči isporuku paketa. Ukoliko paket nije na vrijeme stigao na odredište, vrlo je vjerojatno da je trenutak njegovog prikaza prošao, stoga kao i prilikom prijenosa govora IP mrežom, nije potrebno ponovno slanje izgubljenih ili zakašnjelih paketa. Stoga je važno pratiti kako različite veličine gubitaka paketa imaju utjecaj na QoE korisnika koji se koriste tom uslugom, [2].

4.2.1. Video na zahtjev

Aplikacija video na zahtjev (VoD, eng. *Video on Demand*) korisnicima omogućuje pretraživanje, odabir i reprodukciju multimedijskog sadržaja. Zahtjeva se dvosmjerna komunikacija u kojoj se primjećuje velika asimetrija u odlaznom i dolaznom toku. Korisnik u

odlaznom smjeru šalje samo zahtjev (kontrolne informacije), a kao odgovor dobiva unaprijed snimljeni multimedijski sadržaj koji se može koristiti za prijenos „od točke prema više točaka“ i mnogo češće „od točke do točke“, zbog čega dolazi dolazi do asimetrije u tokovima, [32].

Od aplikacije, što se tiče korisnika, očekuje se što manje kašnjenje i visoka kvaliteta video sadržaja, [33]. Sadržaj koji se prenosi unaprijed je snimljen i spremljen na server, tj. nije stvarno-vremenske prirode, pa iz tog razloga manje kašnjenje i kolebanje kašnjenja nemaju utjecaja na doživljaj s korisničke strane. Korisnik preuzima sadržaj te se on sprema u pred-memoriju iz koje se onda reproducira. U slučaju većeg kašnjenja može doći do potrebe da se cijeli sadržaj reproducira iz pred-memorije, tada se prijenos zaustavlja i čeka se nastavak prijenosa što utječe na doživljaj korisnika koji gleda video, [32]. Vrlo kratko trajanje sesija u odnosu na broj reprodukcija primjećuje se kod aplikacije VoD iz razloga što korisnici usluge nisu uistinu zainteresirani za sadržaj već ga samo „preletavaju“.

Može se primijetiti korelacija duljine trajanja video sesije s popularnošću sadržaja prema činjenici da manje popularni video sadržaji imaju dulje trajanje pojedine sesije, [33].

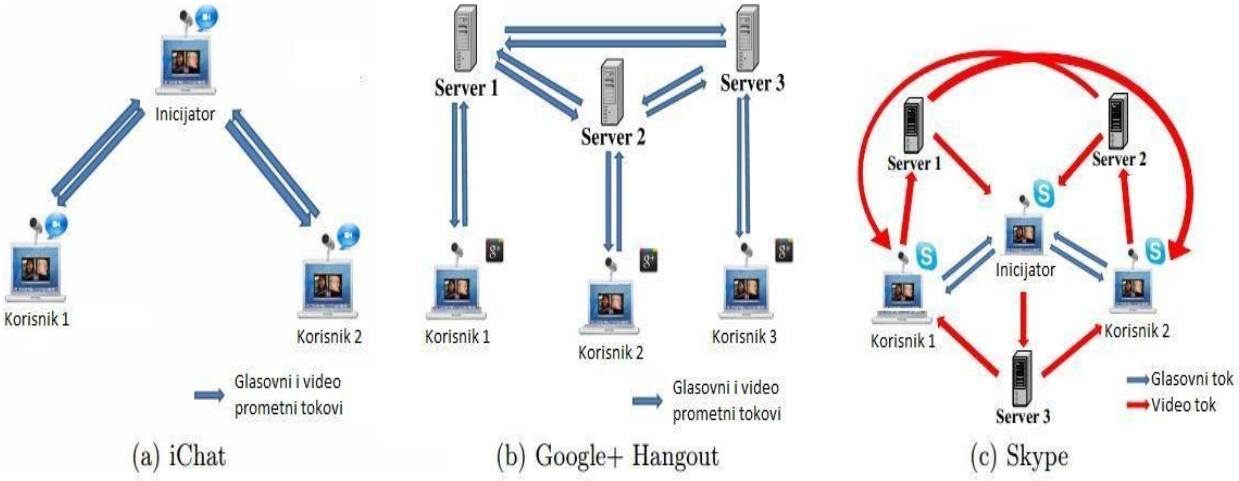
4.2.2. Videotelefonija i videokonferencija

Videotelefonija započela je s razvojem još u 20-om stoljeću, no veću primjenu doživljava tek posljednjih godina. Razlog što su videotelefonija i videokonferencija u primjeni tek unazad nekoliko godina jest taj što takve vrste komunikacije zahtijevaju velike propusnosti, te malo kašnjenje, a kako bi se to ostvarilo potrebno je zakupljivanje vodova i posjedovanje specijaliziranih *hardware* i *software* sustava za kodiranje/dekodiranje. U današnje vrijeme širokopojasnih mreža i široke primjene pametnih uređaja, korištenje ovakve vrste usluge moguće je uz novčanu naknadu ili čak i besplatno. Skype, Google+ Hangout, Apple iChat neke su od najpoznatijih aplikacija za videotelefoniju i videokonferenciju.

Kod ove vrste aplikacija, ukoliko je kašnjenje veće od 350 ms, kvaliteta usluge drastično će opasti, iz razloga što su zahtjevi videokonferencije velika širina prijenosnog pojasa i vrlo malo kašnjenje.

Kako bi se omogućilo ostvarivanje dovoljne razine kvalitete usluge kod videokonferencijskih aplikacija, takve se aplikacije moraju optimizirati za heterogene

pristupne mreže i korisničke terminale, raznolike propusnosti i ostale mrežne parametre poput gubitka paketa i kašnjenja. Kako bi se ostvario stvarno-vremenski prijenos svi navedeni parametri moraju biti optimizirani.



Slika 4.2. Moguće izvedbe arhitekture videokonferencijske aplikacije, [34]

Mreža ravnopravnih sudionika (*P2P*, eng. *peer-to-peer*), klijent-server i hibridna arhitektura, tri su izvedbe mrežne arhitekture za izvedbu videotelefonije i videokonferencije. Na slici 4.2. prikazane su navedene arhitekture, gdje je (a) P2P, (b) klijent-server i (c) hibridna arhitektura. Kod klijent-server arhitekture, kako bi se pronašlo što optimalnije rješenje za što manje kašnjenje i što veću propusnost glasovnih i video tokova za geografski dislocirane krajnje korisnike, obraća se pažnja na pozicioniranje servera. Kod P2P arhitekture na način da korisnici jedni drugima bez posredstva servera šalju pakete smanjuje kašnjenje, no otežana je visoka propusnost. Hibridnu arhitekturu koristi Skype kod pružanja usluge videokonferencije gdje su glasovni prometni tokovi izvedeni P2P, dok su video tokovi izvedeni klijent-server arhitekturom.

Adaptacija videa za sve korisnike jednako s obzirom na različite pristupne mreže svakog pojedinog korisnika, tj. onog korisnika koji ima najmanju propusnost u pristupnoj mreži, jedan je od načina prilagođavanja video sadržaja za što bolje korištenje mrežnih resursa. Time se osigurava „tečnost“ aplikacije, ali ostalim se korisnicima uskraćuje veća kvaliteta videa koju uvjetno mogu dobiti. Adaptacija videa prema pristupnoj mreži korisnika moguća je kao alternativa, no tada je zahtijevana širina prijenosnog pojasa na jedinstvenoj mrežnoj okosnici (eng. *backbone*) mnogo veća i veće je kašnjenje uzrokovano kodiranjem, transportiranje i kodiranje svakog videa zasebno, [34].

4.2.3. Prijenos sadržaja visoke rezolucije – HD

Promet na Internet tržištu unazad nekoliko godina sadrži velike količine prometa komprimiranog videa generiranog od strane internetskih videoportala poput YouTube, Vevo, Vimeo i ostali. Primjer velike količine prometa koji se generira može biti statistika YouTube portala koja pokazuje da se mjesečno pregleda preko 4 milijarde sati videa, [33]. Bing u svojoj knjizi, [35], navodi kako je unazad nekoliko godina očit porast popularnosti usluge prijenosa videosadržaja strujanjem, iako i dalje većina prometa otpada na P2P aplikacije koje omogućuju razmjenu različitih sadržaja. Taj porast rezultat je sve većeg broja širokopojasnih priključaka (žičnih i bežičnih) kao i sve većeg broja uređaja poput prijenosnih računala i mobilnih terminalnih uređaja koji su prikazani na primjeru, na slici 4.3, kojima korisnici pristupaju Internetu i njegovim sadržajima. Sveprisutne društvene mreže koje omogućavaju brzu publikaciju i razmjenu raznih sadržaja, tako i videosadržaja imaju velik utjecaj na povećanje prometa u mreži.

Sa porastom popularnosti usluge prijenosa videosadržaja strujanjem u porastu je i ukupna količina podataka generirana od strane ove usluge koja se prenese Internetom iz razloga što je sve veća količina prenesenog videosadržaja u HD (eng. *High Definition*) formatu. Film u trajanju 1,5 i 2 sata u HD inačici može zauzimati do nekoliko desetaka GB, dok će u SD (eng. *Standard Definition*) formatu zauzeti prostor od nekoliko stotina MB do nekoliko GB (primjer kapaciteta jednoslojnog DVD medija je 4,7 GB, a jednoslojni Blu-ray medij ima kapacitet 25 GB). Uštede u potrebnom kapacitetu prometnog kanala moguće su komprimiranjem videosadržaja korištenjem raznih kodeka, no kada se mrežom prenosi sadržaj u HD formatu količina prenesenih podataka znatno je veća. Pojava novog medija prema potrošačima rezultat je porasta broja Internet korisnika kao i povećanja pristupnih brzina. Davatelji sadržaja i usluga navedeni medij već uvelike iskorištavaju. Ističu se prednosti za sve sudionike telekomunikacijskog tržišta, korisnici imaju mogućnost pregledavanja željenog sadržaja više puta i kad god to oni žele bez da prethodno pohrane sadržaj. Davatelji sadržaja i usluga s druge strane koriste postojeće infrastrukture mrežnih operatora i ISP-a te ne moraju dodatno ulagati u izgradnju vlastite infrastrukture kako bi isporučili svoj sadržaj.

Uspjeh ili neuspjeh pojedinih operatora i davatelja usluga strujanja HD videosadržaja ovisi o njihovoj sposobnosti zadovoljenja potreba i očekivanja korisnika, tj. zadovoljenja određene razine QoE kod korisnika. Kvaliteta HD videosadržaja može se usporediti s

kvalitetom klasične TV usluge koju korisnici učestalo koriste, pa će to biti razlog da usluga strujanja HD videosadržaja mora zadovoljiti barem razinu iskustvene kvalitete pružene korisnicima putem klasične TV usluge. S obzirom da ta razina kvalitete predstavlja minimum iz razloga što korisnici očekuju veću razinu kvalitete, posebice kod investiranja u HD prijamnike, nametnuta je potreba za ispitivanjem iskustvene kvalitete usluge strujanja HD videosadržaja, [2].



Slika 4.3. Primjena HD rezolucije na različitim uređajima, [46]

5. OBJEKTIVNE METODE MJERENJA KVALITETE

5.1. Osnovni cilj i metode objektivnog mjerenja kvalitete

Osnovni cilj razvoja metoda objektivne procjene QoE jest dizajnirati metodu mjerenja kvantitativnih parametara tako da se dobivenim rezultatima pokuša procijeniti subjektivno mišljenje korisnika. Razlog tomu je taj što su objektivne metode mjerenja jeftinije te ih je lakše provesti u odnosu na subjektivne metode. Samo objektivnim mjerenjem dostignutih performansi mreže ne može se ocijenjivati iskustvenu kvalitetu usluge. U analizu je potrebno uključiti niz ostalih tehničkih i netehničkih faktora. Budući da netehnički faktori gotovo u pravilu nisu mjerljivi instrumentima, njih je potrebno na neki način procijeniti.

ITU J.143 [38] dijeli objektivne metode mjerenja kvalitete na: *full reference, no-reference, reduced-reference*; J.244 [39].

Prema ITU referenci, razlikuju se tri postupka objektivnog vrednovanja kvalitete slikovnog ili video sadržaja:

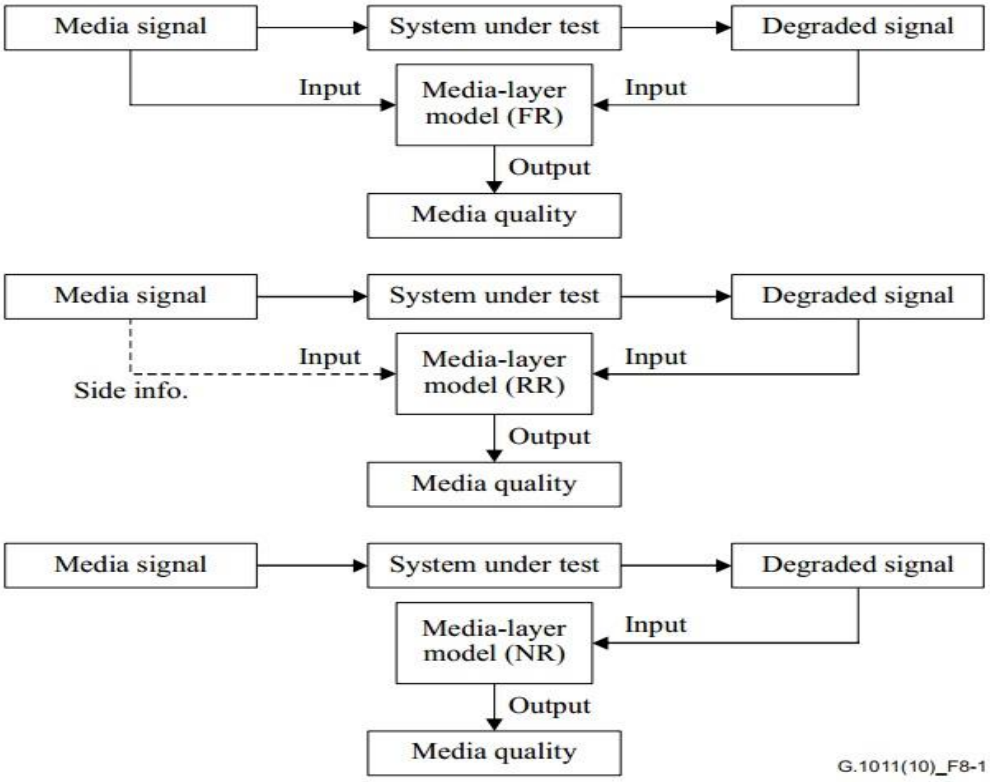
• objektivne mjere koje vrednuju razliku između originalnog i izobličenog sadržaja - ocjena kvalitete ispitnog vizualnog sadržaja mjeri se uz prisustvo originalnog sadržaja – FR (eng. *Full Reference*);

• objektivne mjere koje se temelje na ekstrakciji i usporedbi značajki originalnog i izobličenog vizualnog sadržaja - ocjena kvalitete ispitnog vizualnog sadržaja temelji se na usporedbi statistički dobivenih značajki ispitnog i originalnog vizualnog sadržaja– RR (eng. *Reduced Reference*);

• objektivne mjere koje vrednuju izobličenja u ispitnom sadržaju bez uporabe originalnog sadržaja - ocjena kvalitete ispitnog vizualnog sadržaja temelji se na značajkama ispitnog sadržaja bez prisutnosti bilo kakve informacije o originalnom sadržaju– NR (eng. *No Reference*).

5.2. Modeli objektivne procjene kvalitete

Media layer modeli koriste stvarne medijske signale (audio/video) na ulazima, a mogu uzimati u obzir kodek kompresije i karakteristike kanala. Ovi modeli koriste složene perceptivno-temeljene psihofizičke modele za procjenu QoE, uspoređujući (FR / RR) izlazni (degradirani) signal s ulaznim (čistim) signalom ili jednostavno analizirajući izlazni (degradirani) signal (NR). Glavne primjene modela pune reference (FR) su QoE procjena u laboratoriju, na primjer, usporedba/optimizacija kodeka, gdje se ne koristi samo degradirani (primljeni) signal, nego i izvorni (prijenosni) signal radi procijene QoE. Isto tako, reducirani reference / no-reference (RR / NR) modeli mogu se primijeniti kod praćenja QoE na središnjim ili krajnjim točkama IP-TV mreže, [19]. Na slici 5.1 prikazani su modeli medijskih slojeva.



Slika 5.1. *Media layer* modeli, [19]

Modeli parametričnog paketnog sloja, za razliku od *Media layer* modela, predviđaju QoE samo iz *packet-header* informacija i nemaju pristup medijskim signalima. Ovime se omogućuje lakše rješenje za predviđanje QoE jer se ne moraju procesirati medijski signali.

Modeli planiranja koriste kvalitetu planiranja mrežnih parametara i terminala kako bi se predvidjela iskustvena kvaliteta QoE. Kao rezultat zahtjevaju se pred znanja o sustavu na kojem se vrši ispitivanje.

Bitstream layer modeli koriste se kodiranim *bitstream* informacijama i podatcima modela paketnog sloja koji su korišteni u modelu parametričkog paketnog sloja prilikom mjerenja QoE.

Hibridni model uglavnom kombinira dva ili više prethodno opisana modela, [19].

5.3. Postupci objektivnih mjerenja kvalitete

PSNR (eng. *Peak Signal to Noise Ratio*) postupak jedan je od sveprisutnih najkorištenijih i najpopularnijih postupaka. Na temelju usporedbe sa referentnim, originalnim sadržajem, PSNR postupkom dobija se ocjena kvalitete, odnosno stupanj izobličenja promatranog sadržaja, koja je rezultat usporedbe i predstavlja logaritamski omjer vršnog signala ekvivalentnog kvadratu maksimalne moguće vrijednosti elementa slike i snage šuma ekvivalentne iznosu srednje kvadratne pogreške MSE (eng. *Mean Square Error*) između elemenata originalnog, referentnog i rekonstruiranog, izobličenog slikovnog sadržaja. PSNR se definira prema [49] kao:

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

gdje je n broj bita korištenih za kodiranje elemenata izvorne slike dok MSE predstavlja srednju kvadratnu pogrešku između elemenata originalne xij i izobličene slike x'ij, a definira se prema sljedećoj relaciji, [49]:

$$MSE = \frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=1}^{N-1}\left(x_{ij} - x'_{ij}\right)^2. \tag{2}$$

PSNR je vrlo popularan postupak objektivnog mjerenja kvalitete slike zbog svoje jednostavnosti i brzine izračuna, no iz razloga što dobiveni rezultati ne koleriraju dobro s rezultatima dobivenim pomoću subjektivnih postupaka ocjene kvalitete, ne predstavlja idealno mjerilo ocjene. PSNR ocjena kvalitete slikovnog ili video sadržaja kompresiranog različitim

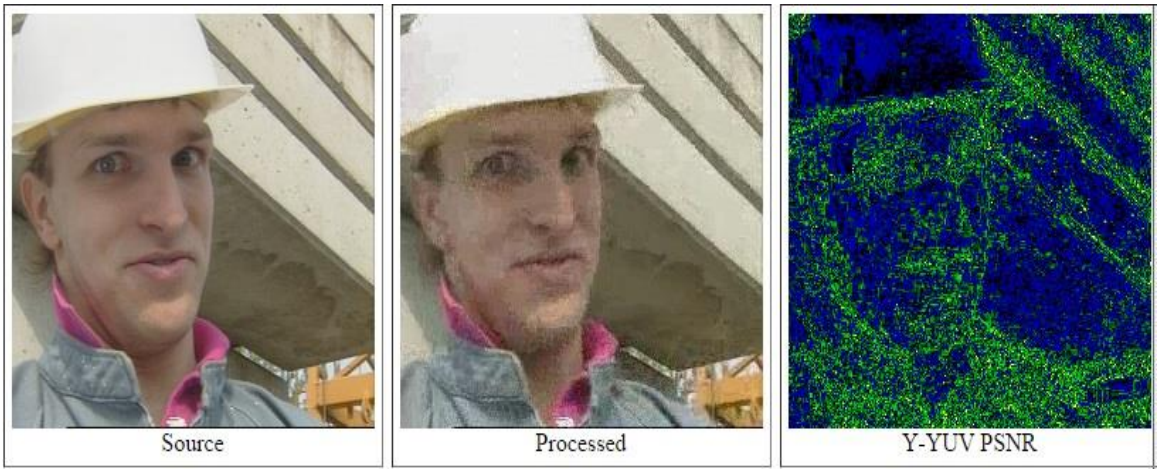
metodama uz korištenje različitog stupnja kompresije daje korisne podatke na osnovu kojih se provodi odabir najprikladnije metode kompresije za pojedine sustave pohrane ili prijenosa vizualnih informacija. Veće vrijednosti PSNR-a znače kvalitetniju rekonstrukciju pri čemu maksimalna vrijednost iznosi sto decibela što predstavlja identičnost originalne, izvorne i izobličene, rekonstruirane slike.

MSE (eng. *Mean Squared Error*), "Srednja kvadratna greška" je mjerna veličina koja se koristi za procjenu kvalitete rekonstruiranja slike u odnosu na originalnu sliku. Pokazuje srednju kvadratnu grešku za dvije slike ili framea. Izračunava se po formuli, [49]:

$$d(X,Y) = \frac{\sum_{i=1,j=1}^{mn}(X_{ij}-Y_{ij})^2}{mn}. \quad (3)$$

Vrijednost ove veličine se kreće od 0 pa do 65025, pri čemu je 0 vrijednost za identične frameove.

Prilikom rasta PSNR vrijednosti slika se prikazuje ovim bojama uzlazno: crvena, žuta, zelena, plava, crna. Što je veća PSNR vrijednost, razlika između slika je manja. Primjer PSNR metrike prikazan je na slici 5.2, [47].



Slika 5.2. PSNR metrika, [47]

SSIM (eng. *Structural Similarity Index*) indeks, drugi je postupak iz grupe FR postupaka koji se temelji na određivanju strukturalne sličnosti, a karakterističan je po visokoj korelaciji sa subjektivnim rezultatima ocjene kvalitete slikovnog sadržaja [40]. Kod ovog postupka iskorištava se svojstvo ljudskog vizualnog sustava osjetljivog na izobličenja strukturalne informacije te promjene vezane uz kontrast i svjetlinu nastale unutar vizualnog sadržaja. Kvaliteta ispitnog slikovnog sadržaja može se odrediti mjerenjem izobličenja

sastavnih struktura, kao i promjene svjetline i kontrasta. Kvaliteta je izražena preko SSIM indeksa kvalitete, a računa se lokaliziranom usporedbom originalne i izobličene slike i to za svaki element čime se dobiva slika/mapa SSIM indeksa.

Nakon računanja parametra svjetline l(x,y) između elemenata originalne i izobličene slike prema relaciji, [49]:

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, \tag{4}$$

i parametra kontrasta prema relaciji, [49]:

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \tag{5}$$

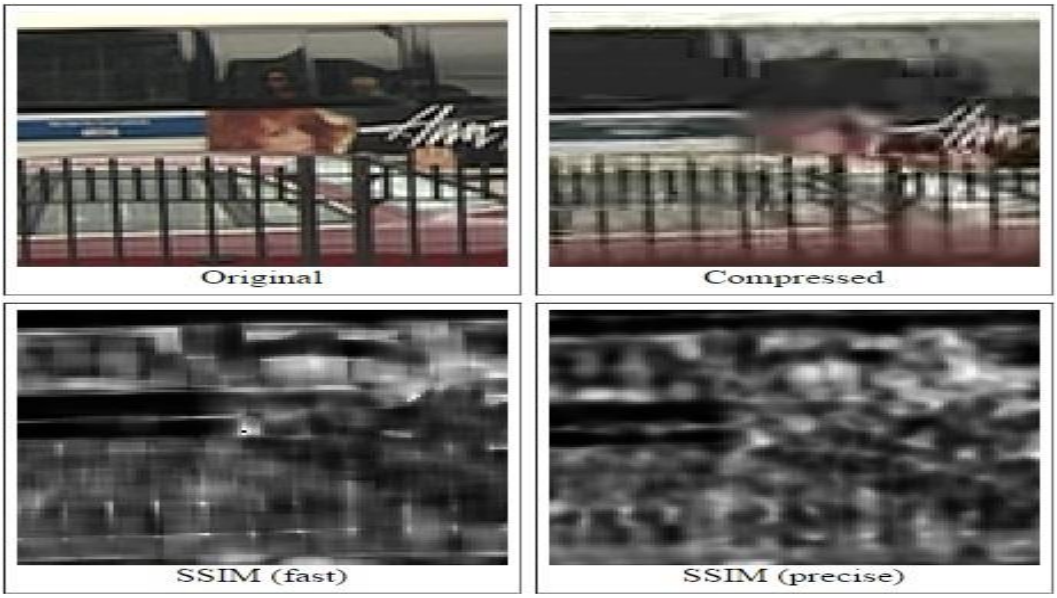
te parametra strukturalne informacije prema relaciji, [49]:

$$s(x,y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}, \tag{6}$$

moguće je izračunati SSIM indeks kao produkt ova tri parametra prema sljedećoj relaciji, [49]:

$$SSIM(x,y) = l(x,y)c(x,y)s\,(x,y), \tag{7}$$

gdje μx i μy predstavljaju srednje vrijednosti X i Y, σx i σy su standardne devijacije originalnog i rekonstruiranog signala dok je σxy iznos kovarijance za obje slike. C1, C2, C3 su konstante dodane u relaciju kako bi se spriječilo dijeljenje s nulom. Na slici 5.3 prikazana je SSIM metrika gdje svjetlija područja na SSIM slikama označavaju veću razliku između originalne i komprimirane slike, [47].



Slika 5.3. SSIM metrika, [47]

MSAD metrika temelji se na vrijednosti koja je srednja apsolutna razlika komponenti boja u referentnim točkama slike. Ova metrika koristi se prilikom testiranja kodeka i filtera. Primjer MSAD metrike prikazan je na slici 5.4, a formula metrike definira se prema, [47]:

$$d(X,Y) = \frac{\sum_{i=1,j=1}^{m,n} \left| X_{i,j} - Y_{i,j} \right|}{mn} . \quad (8)$$

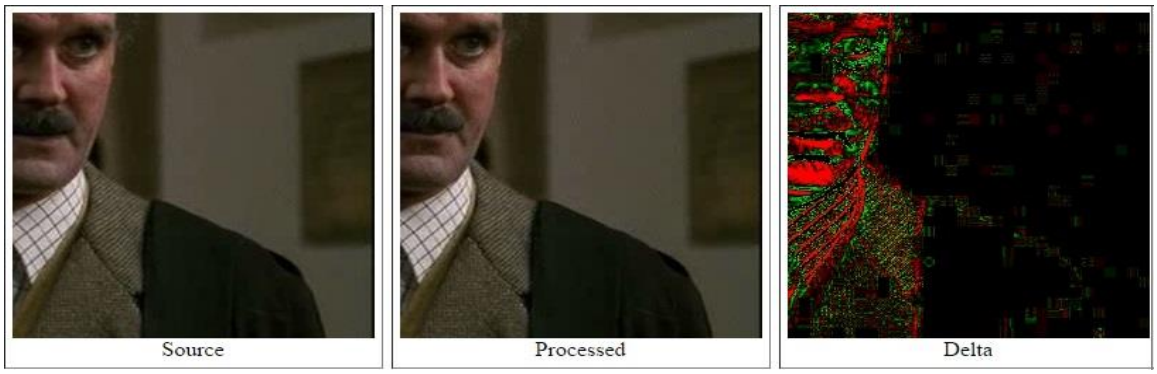


Slika 5.4. MSAD metrika, [47]

Delta metrika temelji se na vrijednosti koja je sredna razlika komponenti boja u referentnim točkama slike. Također se, kao i MSAD metrika, koristi prilikom testiranja kodeka

i filtera. Primjer Delta metrike prikazan je na slici 5.5, gdje crvena boja označava Xij > Yij, a zelena boja označava Xij < Yij. Definira se prema formuli, [47]:

$$d(X,Y) = \frac{\sum_{i=1,j=1}^{m,n} |X_{i,j} - Y_{i,j}|}{mn} . \quad (9)$$



Slika 5.5. Delta metrika, [47]

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

Na slici 5.6 prikazan je postupak ove metrike gdje crvena boja pokazuje područje gdje je prva slika oštrija od druge, a zelena boja pokazuje područje gdje je druga slika oštrija od prve, [47].



Slika 5.6. MSU *Blurring Metric*, [47]

6. SUBJEKTIVNE METODE MJERENJA KVALITETE

QoE se najtočnije može procijeniti subjektivnim metodama. Jedino se ispitivanjem mišljenja korisnika na određenom uzorku može saznati kakva je iskustvena kvaliteta usluge koju su doživjeli. Kao i u objektivnih metoda, i ovdje je važan korak izbor faktora koji će se ispitivati. Ispitivanja se provode anketiranjem korisnika nakon korištenja određenom uslugom.

Subjektivne metode mjerenja temelje se na ljudskom vizualnom sustavu i ocijenjivanju vizualnog sadržaja od strane ljudskih pojedinaca koji u unaprijed određenim, zadanim i propisanim uvjetima ocjenjuju kvalitetu promatranog vizualnog sadržaja, u slučaju ovog završnog rada, video sadržaja. Aritmetička sredina ocjena svih ispitanika za pojedini sadržaj ekvivalent je kvalitete promatranog sadržaja. Subjektivne metode smatraju se postupcima koji rezultiraju stvarnom ocjenom kvalitete promatranog sadržaja iz razloga što se mjerilo kvalitete temelji na ispitanikovoj percepciji. Rezultati mjerenja kod ovakvih metoda i postupaka mjerenja nisu egzaktan broj već produkt statističke distribucije niza pojedinačnih subjektivnih rezultata koji su u ovisnosti s faktorima kao što su: raspoloženje promatrača, odabir ispitnog sadržaja, uvjeti promatranja (omjer udaljenosti promatranja i visine slike, osvijetljenost i izgled prostorije u kojoj se vrši promatranje, svjetlina, kontrast i veličina monitora, itd.) [42].

Subjektivni postupci mjerenja kvalitete dijele se na: jednopodražajni postupak s apsolutnom ocjenom kvalitete slike - SSCQS (eng. *Single stimulus continuous quality evaluation*), dvopodražajni postupak s ocjenom izobličenja slike – DDIS (eng. *Double stimulus impairment scale*), dvopodražajni postupak s ocjenom kvalitete slike – DSCQS (eng. *Double stimulus impairment scale*) i postupak apsolutnog kategorijskog ocjenjivanja – ACR (eng. *Absolute Category Rating*) [43]. Međunarodna telekomunikacijska unija opisuje i standardizira postupke i načine mjerenja. Priprema mjernog okruženja, složenost i dugotrajnost te nemogućnost praktične primjene u stvarnim sustavima predstavljaju nedostatke subjektivnih postupaka mjerenja. Zbog pouzdanosti mjerenja ovakvim postupcima, rezultati subjektivnih mjerenja uspoređuju se i određuju stupanj vjerodostojnosti rezultata dobivenih putem objektivnih postupaka mjerenja kvalitete.

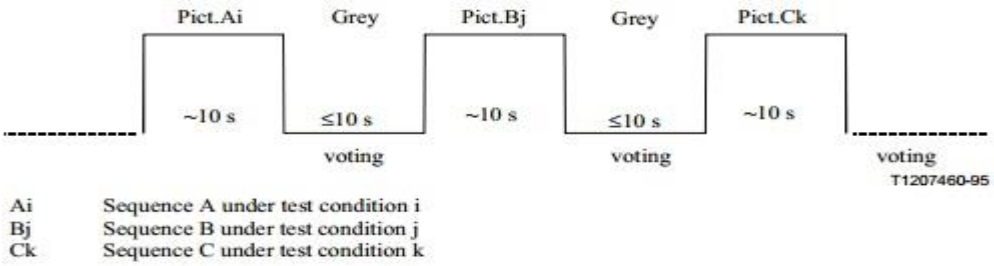
Koristeći se definicijom iz [44], ITU u [19] kategorizira metode subjektivne procjene kvalitete u dvije kategorije: analitičke (eng. *analytical*) i praktične (eng. *utilitarian*). U analitičke metode ubrajaju se one u kojih je moguće rasčlaniti (analizirati) korisničku percepciju nad potpunim skupom ili nekim podskupom karakteristika kvalitete, dok se u

praktične metode ubrajaju one u kojih je moguće mjeriti jednu karakteristiku kvalitete ili cjelokupnu kvalitetu.

6.1. Metode jednostrukog podražaja (*Single Stimulus* - SS)

ACR (eng. *Absolute Category Rating*), metoda "Apsolutne kategorizacije ocjena" spada u kategoriju procjene gdje su testne sekvence prikazane individualno i ocjenjene neovisno prema oznakama na ljestvici. Ova metoda se također naziva i metoda jednostrukog podražaja, SS (eng. *Single Stimulus*).

Metoda specificira da nakon svake prezentacije promatrač mora procijeniti kvalitetu prikazane sekvence sadržaja. Vremenski uzorak prezentacije podražaja prikazan je na slici 6.1. Prilikom uzimanja konstantnog vremena za ocjenjivanje, postupak ocjenjivanja treba biti kraći ili jednak vremenu od 10 sekundi. Trajanje prezentiranog sadržaja može biti skraćeno ili produženo ovisno o sadržaju testnog materijala.



Slika 6.1. Prezentacija podražaja kod ACR metode, [45]

Oznake na ljestvici su: "vrlo loše", "loše", "dobro", "vrlo dobro", "izvrsno", a pri izračunu MOS (eng. *Mean Opinion Score*) oznake su prevedene u 1, 2, 3, 4 i 5.

Za ACR metodu, potreban broj ponavljanja dobija se ponavljanjem istih testnih uvjeta u različitim vremenskim točkama ispitivanja.

ACR-HR (eng. *Absolute Category Rating with Hidden Reference*), "Apsolutno kategorijsko ocjenjivanje sa skrivenom referencom" je ocjenjivačka metoda gdje su testne sekvence prikazane jedna po jedna i ocjenjene neovisno na kategorizacijskoj ljestvici. Predstavljena testna procedura mora uključivati referentnu verziju ispitnog slijeda kao i svaki podražajni test. To se naziva uvjetom skrivene reference. Za vrijeme analiziranja podataka,

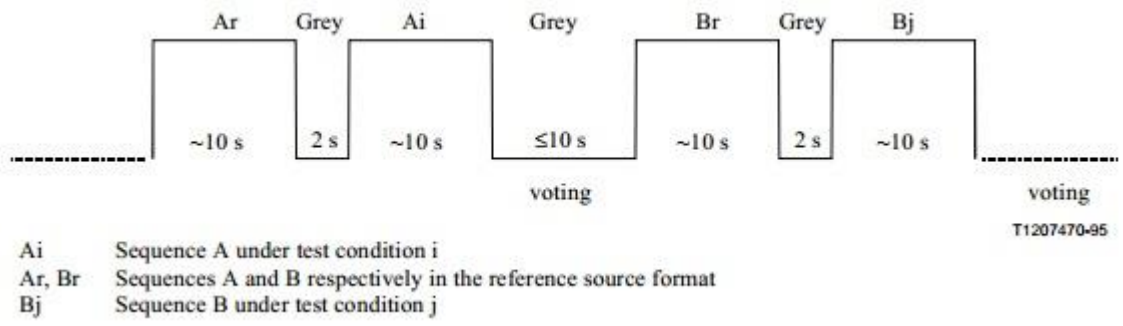
različite ocjene kvalitete DMOS (eng. *Difference Mean Opinion Score*) bit će računane između testnih sekvenci i odgovarajuće (skrivene) reference. Ovakva procedura poznata je kao "skrivena referenca".

Ova metoda specificira, da nakon svake prezentacije, ispitanici moraju ocijeniti kvalitetu prikazane sekvence. Vremenski uzorak podražajne simulacije može također biti prikazan slikom 6.1. Prilikom uzimanja konstantnog vremena ocjenjivanja, to vrijeme trebalo bi biti kraće ili jednako vremenu od 10 sekundi. Prezentacija sadržaja može biti skraćena ili produžena ovisno o sadržaju ispitnog materijala. Oznake na ljestvici jednake su kao i kod ACR metode. ACR-HR metoda trebala bi se koristiti samo kod video sadržaja kojeg neki stručnjak iz tog područja smatra "vrlo dobrim" ili "izvrsnim" na pet-razinskoj ljestvici.

6.2. Metode dvostrukog podražaja (*Double Stimulus* - DS)

DCR (eng. *Degradation Category Rating*) metoda "Ocjena degradiranih kategorija" podrazumijeva da testne sekvence budu prikazane u parovima, prvi prikazani podražaj svakog para uvijek je izvorna referenca, dok je drugi podražaj istog izvora prikazan kroz sustav koji se testira. Ova metoda također se naziva metoda dvostrukog podražaja s ocjenom kvalitete.

Vremenski uzorak prezentacije podražaja prikazan je slikom 6.2. Prilikom uzimanja konstantnog vremena za ocjenjivanje, tada postupak ocjenjivanja treba biti kraći ili jednak vremenu od 10 sekundi. Trajanje prezentiranog sadržaja može biti skraćeno ili produženo ovisno o sadržaju testnog materijala.



Slika 6.2. Prezentacija podražaja kod DCR metode, [45]

U ovom slučaju, od ispitanika se traži da ocjenjuju pogoršanje drugog podražaja u odnosu na referentni. Koristi se navedena ljestvica sastavljena od pet razina (tablica 6.1).

Tablica 6.1: Razine ocjenjivanja kod DCR metode

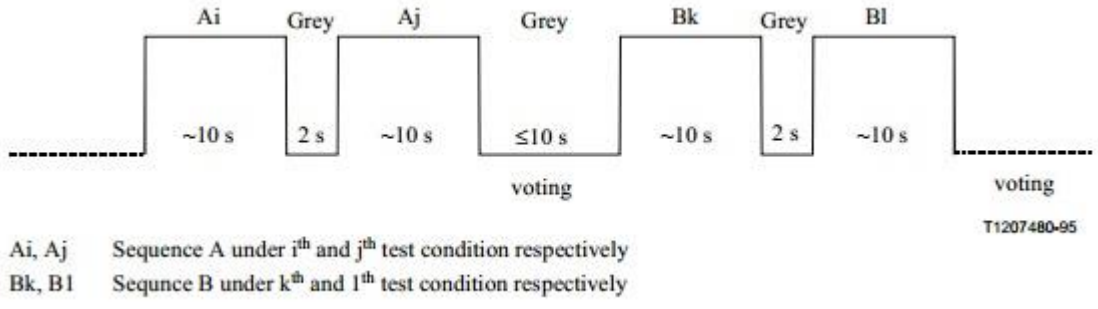
5	Neprimjetno
4	Primjetno, ali ne i neugodno
3	Neznatno neugodno
2	Neugodno
1	Vrlo neugodno

Kod DCR metode, potreban broj ponavljanja dobija se ponavljanjem istih testnih uvjeta u različitim vremenskim točkama ispitivanja.

PC (eng. *Pair comparison method*) metoda je "Parne usporedbe". Ova metoda podrazumijeva prikaz prezentiranih sekvenci u parovima koji se sastoje od jedne te iste sekvence prvo prezentirane kroz sustav koji se ispituje, a zatim kroz drugi sustav.

Sustavi na kojima se provodi ispitivanje (A, B, C, itd.) su obično kombinirani u svim mogućim n(n-1) kombinacijama AB, BA, CA, itd. Dakle, svi parovi sekvenci bi trebali biti prikazani u oba moguća redoslijeda (npr. AB, BA). Nakon svakog para, procjena se izvodi na temelju odabira najpoželjnijeg elementa para u kontekstu s ispitnim scenarijem.

Vremenski uzorak prezentacije podražaja prikazan je slikom 6.3. Prilikom uzimanja konstantnog vremena za ocjenjivanje, postupak ocjenjivanja treba biti kraći ili jednak vremenu od 10 sekundi. Trajanje prezentiranog sadržaja trebalo bi biti otprilike 10 sekundi, ali ovisno o sadržaju testnog materijala može biti skraćeno ili produženo.



Slika 6.3. Prezentacija podražaja kod PC metode, [45]

Za PC metodu, broj ponavljanja se ne mora nužno uzeti u obzir iz razloga što metoda podrazumijeva ponavljanje prezentacije istih uvjeta, iako u različitim parovima.

6.3. Usporedba metoda subjektivnog mjerenja kvalitete

Važna stavka u odabiru metode ispitivanja subjektivne kvalitete jest razlika između metoda koje koriste eksplicitne reference (npr. DCR) i metoda koje ne koriste eksplicitne reference (npr. ACR, ACR-HR, PC). Ova druga klasa metoda ne testira transparentnost ili pouzdanost. DCR metoda treba biti korištena prilikom testiranja pouzdanosti s obzirom na izvorni signal. Ovo je često važan faktor prilikom procjene sustava visoke kvalitete kao što su televizijska slika i HD format. DCR je dugo bila ključna metoda za procjenu televizijskih slika čija tipična kvaliteta predstavlja ekstremno visoke razine videotelefonije i videokonferencije. Ostale metode mogu se također koristiti prilikom procjene sustava visoke kvalitete. Specifični komentari DCR ljestvice (neprimjetno/primjetno) korisni su kada je gledateljevo otkrivanje oštećenja bitan faktor.

Prema tome, kada je važno provjeriti pouzdanost s obzirom na izvorni signal, DCR metoda trebala bi biti korištena.

DCR metoda također se treba koristiti kod sustava visoke kvalitete u kontekstu multimedijske komunikacije. Diskriminacija neprimjetnog/primjetnog pogoršanja u DCR ljestvici to podržava, kao i usporedbu s referentnom kvalitetom.

ACR metoda jednostavno i brzo se implementira, a prezentacija podražaja je slična onoj prilikom zajedničkog korištenja sustava. Prema tome, ACR metoda dobro je prilagođena za kvalifikacijske testove.

ACR-HR metoda posjeduje sve prednosti ACR metode s obzirom na prezentaciju i brzinu. Glavna prednost ACR-HR metode nad ACR metodom je ta što perceptivni utjecaj videa može biti uklonjen iz subjektivnih ocjenjivanja. Time se smanjuje utjecaj scena pristranosti (npr. gledateljeve naklonosti ili antipatije referentnog videa), referentne video kvalitete (npr. male razlike u kvaliteti kamere) i praćenje (npr. profesionalna kvaliteta naspram korisnikova ocjena) na konačne rezultate.

ACR-HR metoda pogodna je kod velikih eksperimenata, pod uvjetom da su svi referentni video sadržaji barem "vrlo dobre" kvalitete. Međutim, ACR-HR može biti osjetljiv na neke nepravilnosti koje se lako detektiraju izravnim diferencijalnim metodama (npr. DCR). Na primjer, sustavno smanjenje intenziteta boje (npr. zatamnjivanje boja) ne može biti detektirano od strane ACR-HR metode.

Glavna vrlina PC metode je velika sposobnost diskriminacije, što je od osobite važnosti kada je nekoliko ispitnih predmeta gotovo jednake kvalitete. Kada se velik broj predmeta ocjenjuje u istom ispitivanju, postupak temeljen na PC metodi sklon je dugotrajnosti procesa. U tom slučaju, ACR ili DCR ispitivanje se može provesti s ograničenim brojem promatrača, nakon čega slijedi uporaba PC metode isključivo na predmetima koji su dobili skoro identičnu ocjenu, [45].

7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu izvršen je osvrt na analize metoda objektivnog i subjektivnog mjerenja kvalitete usluge prijenosa videosadržaja. Kao uvodni dio pojašnjeni su pojmovi poput moda prijenosa kanal i moda prijenosa paket, te pojam višeuslužnih mreža na kojima se zasniva sam prijenos videosadržaja. Dalje su pojašnjene kvaliteta usluge i iskustvena kvaliteta usluge, pojmovi veoma bitni koji su nam kasnije koristili u analizi objektivnih i subjektivnih metoda mjerenja.

U današnje vrijeme kada prijenos videosadržaja strujanjem postaje sve prisutnija pojava u višeuslužnim mrežama, pa tako i promet u mreži raste što dovodi u pitanje kvalitetu prijenosa videosadržaja kroz tu istu mrežu, koriste se objektivne i subjektivne metode mjerenja kvalitete usluge prijenosa videosadržaja kako bi se postavile prihvatljive razine kvalitete prijenosa sadržaja u tehničkom smislu, tj. na području objektivnih postupaka mjerenja, gdje su potrebna znanja različitih znanstvenih disciplina kao što su neuroznanost, znanost o vidu, psihologija, psihofiziologija, itd.

Osnovni cilj objektivnih postupaka je dobivenim rezultatima pokušati procijeniti subjektivno mišljenje korisnika. Objektivne metode jeftiniji su način i lakše ih je sprovesti, no ne omogućuju ocijeniti iskustvenu kvalitetu usluge. Uporabom postupaka mjerenja poput PSNR, MSE, SSIM, MSAD, itd. moguće je izračunati kvalitetu, no iz razloga što rezultati takvih mjerenja ne koleriraju uvijek sa rezultatima subjektivnih mjerenja nisu pouzdan pokazatelj ocjene kvalitete. PSNR metoda je najpopularnija zbog jednostavnosti i brzine proračuna, no nije u dobroj korelaciji sa subjektivnim mjerenjima, dok je SSIM metoda karakteristična po visokoj korelaciji sa subjektivnim rezultatima ocjene kvalitete slikovnog sadržaja.

Subjektivni postupci mjerenja kvalitete usluge prijenosa videosadržaja najtočniji su kod procijene QoE. Subjektivni postupci mjerenja su dugotrajniji i skuplji, no jedino se ispitivanjem korisnika može saznati kakva je iskustvena kvaliteta usluge koju su doživjeli. Važan korak je izbor faktora koji će se ispitivati. Princip subjektivnih metoda jest davanje sekvence sadržaja promatraču na promatranje. Uzima se određeno vrijeme za ocjenjivanje i prikazivanje sadržaja. Metode jednostrukog podražaja poput DCR i PC, provode se na način prikazivanja jednog po jednog djela sadržaja i ocjenjuju se prema MOS ljestvici, dok se kod metoda dvostrukog podražaja testne sekvence prikazuju u parovima, gdje je prvi par izvorna referenca, a drugi podražaj je prikazan kroz sustav koji se testira.

LITERATURA

[1] Sveučilište u Splitu; Komutacija i upravljanje u telekomunikacijskoj mreži; nastavni materijali; Split, travanj 2011.

[2] Matulin, M.: „*Procjena iskustvene kvalitete usluge prijenosa videosadržaja strujanjem"*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014.

[3] Jain, A.K.: „*Intelligent Multiservice Networks*", Lucent Technologies Inc. *'02*, Bell Labs Technical Journal 7(1), 2002, pp. 81–97

[4] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Kunštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac, B., Sinković, V.: "*Osnovne arhitekture mreža"*, Element, Zagreb, 2009.

[5] ISO 8402 quality management and quality assurance, 1994.

[6] ISO 9000 quality management, 2000.

[7] Gardašević, G.: „*Kvalitet usluge (QoS) u multimedijalnim telekomunikacijama*"

[8] ITU: E.800: „*Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability*", 1994.

[9] ITU: X.902: „*Information technology - Open Distributed Processing - Reference Model: Foundations*", 1995.

[10] ITU-T: E.800: „*Definitions of terms related to quality of service*", 2008.

[11] Vogel, A., Kerhrve, B., Bochmann, G., Gecsei, J.: *Distributed Multimedia Applications and Quality of Service: A Survey*, http://www.informatik.uni-hamburg.de/bib/en/reports/ereport.html, (svibanj, 2015.)

[12] "*Multimedia Communications Quality of Service*", Multimedia Communications Forum, Inc. MMCF/95-010, Approved Rev 1.0, 1995.

[13] Guo, X., Pattinson, C.: *Quality of Service Requirements for Multimedia Communications*, Staffordshire University, 19th June 1997.

[14] Schatz, R., Hoßfeld, T., Janowski, L., Egger, S.: "*From Packets to People: Quality of Experience as New Measurement Challenge*," in Data Traffic Monitoring and Analysis: From measurement, classification and anomaly detection to Quality of experience, Ernst Biersack, M. M., Christian Callegari, Ed. Springer's Computer Communications and Networks series, Volume 7754, 2013.

[15] Van Moorsel, A.: "*Metrics for the internet age: Quality of experience and quality of business,*" in Fifth International Workshop on Performability Modeling of Computer and Communication Systems, Arbeitsberichte des Instituts für Informatik, Universität Erlangen-Nürnberg, Germany, vol. 34, no. 13. Citeseer, 2001, pp. 26–31.

[16] ITU-T - G.100: "*Recommendation ITU-T G.100 - Vocabulary for performance and quality of service*," 2006.

[17] ETSI - TR 102 643: "*Human Factors (HF);Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services*," 2010.

[18] Le Callet, S. M. Patrick, Perkis, A.: "*Qualinet white paper on definitions of quality of experience (2012)*," Lausanne, Switzerland, 2013.

[19] ITU-T - G.1011: "*Recommendation ITU-T G.1011 - Reference guide to quality of experience assessment methodologies*," 2013.

[20] Gardlo, B., Ries, M., Hossfeld, T.: "*Impact of screening technique on crowdsourcing qoe assessments*," in Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), 2012 22nd International Conference. IEEE, 2012, pp. 1–4.

[21] Chen, K.T., Wu, C.C., Chang, Y.C., Lei, C.-L.: "*A crowdsourceable qoe evaluation framework for multimedia content*," in Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia. ACM, 2009, pp. 491–500.

[22] ITU-T - P.800.1: "*Recommendation ITU-T P.800.1 - Mean Opinion Score (MOS) terminology* ," 2006.

[23] ITU-T - G.1080: "*Recommendation ITU-T G.1080 - Quality of experience requirements for IPTV services*," 2008.

[24] Moller, S., Engelbrecht, K.-P., Kuhnel, C., Wechsung, I., Weiss B., "*A taxonomy of quality of service and quality of experience of multimodal human-machine interaction*," in Quality of Multimedia Experience, 2009. QoMEx 2009. International Workshop on. IEEE, 2009, pp. 7–12.

[25] Alben, L.: "*Defining the criteria for effective interaction design*," interactions, vol. 3, no. 3, pp. 11–15, 1996.

[26] Hassenzahl, M., Tractinsky, N.: "*User experience-a research agenda*," Behaviour & Information Technology, vol. 25, no. 2, pp. 91–97, 2006.

[27] ISO - 9241-11: "*Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems*," 2010.

[28] Law, E. L.-C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A. P., Kort, J.: "*Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach*," in Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2009, pp. 719–728.

[29] De Moor, K., Ketyko, I., Joseph, W., Deryckere, T., De Marez, L., Martens, L., Verleye, G.: "*Proposed framework for evaluating quality of experience in a mobile, testbed-oriented living lab setting*," Mobile Networks and Applications, vol. 15, no. 3, pp. 378–391, 2010.

[30] http://courses.ischool.berkeley.edu/i224/s99/GroupA/intro.htm, (svibanj, 2015.)

[31] Schulzrinne, H.: "*Real Time Streaming Protocol*", RFC 2326 1998.

[32] http://novastars.com/video-on-demand/index.html#7.4, (svibanj, 2015.)

[33] Yu, H., Zheng, D., Zhao, B.Y., Zheng, W.: „*Understanding User Behavior in Large-Scale Video-on-Demand Systems*", EuroSys '06, Leuven, Belgija, 2006.

[34] Xu, Y., Yu, C., Li, J., Liu, Y.: „*Video Telephony for End-Consumers: Measurement Study of Google+, IChat, and Skype*", Networking '14, IEEE, 2014, pp. 826 – 839

[35] Bing, B.: „*3d and hd broadband video networking*", Artech house, London, 2010.

[36] Datta, P., Kumar, N.: "*It came to me in a stream…*", cisco 2012.

[37] https://www.youtube.com/yt/press/statistics.html, (svibanj, 2015.)

[38] J.143: „*User requirements for objective perceptual video quality measurements in digital cable television*", 2000.

[39] J.244: „*Full reference and reduced reference calibration methods for video transmission systems with constant misalignment of spatial and temporal domains with constant gain and offset*", 2008.

[40] Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh H.R., Simoncelli, E. P.: "*Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity*", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.

[41] Chaofeng Li, Conrad Bovik, A.: „*Content-weighted video quality assessment using a three-component image model"*, Journal of Electronic Imaging 19(1), 011003 (Jan–Mar 2010)

[42] Winkler, S., Mohandas, P., "*The Evolution of Video Quality Measurement: From PSNR to Hybrid Metrics*", IEEE Trans. on Broadc., vol. 54, no. 3, pp. 660-668, Sep. 2008.

[43] Corriveau, P.: "*Video Quality Testing*", in Digital Video Image Quality and Perceptual Coding, Wu, H. R., Rao, K. R., Eds, Boca Raton, CRC Press, 2006, pp. 125-153.

[44] Jekosch, U.: "*Voice and Speech Quality Perception*", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.

[45] ITU-T: P.910: "*Subjective video quality assessment methods for multimedia applications*", 2008.

[46] http://corp.kaltura.com/sites/kaltura-website/files/images/Kaltura-Video-Platform-HD-Streaming.jpg, (rujan, 2015.)

[47] http://compression.ru/video/quality_measure/info_en.html, (rujan, 2015.)

[48] Kartvelishvili, M., Kartvelishvili, O.: „*QoS and Packet Queueing Strategies in Multiservice Heterogenous TCP/IP Networks*", *Publishing House '09*, Technical University, Tibilisi, 2009.

[49] Gvozden, G.: „*Uporaba značajki vizualnog sadržaja za objektivno vrednovanje kvalitete slike*", 2013.

POPIS KRATICA

ACR (eng. *Absolute Category Rating*)

ACR-HR (eng. *Absolute Category Rating with Hidden Reference*)

BIND (eng. *Bounding Interval-Dependent*)

CBR (eng. *Constant Bit Rate*)

DCR (eng. *Degradation Category Rating*)

DDIS (eng. *Double stimulus impairment scale*)

DMOS (eng. *Difference Mean Opinion Score*)

DS (eng. *Double Stimulus*)

DSCQS (eng. *Double Stimulus Continuous Quality Scale*)

FR (eng. *Full Reference*)

HCI (eng. *Human-Machine Interaction*)

HD (eng. *High Definition*)

ICMP (eng. *Internet Control Message Protocol*)

IETF (eng. *Internet Engineering Task Force*)

IGMP (eng. *Internet Group Management Protocol*)

IP (eng. *Internet Protocol*)

ISO (eng. *International Standards Organization*) ternacionalna standardna

ISP-a (eng. *Internet Service Provider*)

ITU (eng. *International Telecommunication Union*)

ITU-T (eng. *International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*)

MOS (eng. *Mean Opinion Score*)

MSE (eng. *Mean Square Error*)

MSN (eng. *Multi Service Network*)

NR (eng. *No Reference*)

P2P (eng. *peer-to-peer*)

PC (eng. *Pair comparison method*)

PSNR (eng. *Peak Signal to Noise Ratio*)

QoE (eng. *Quality of Experience*)

QoS (eng. *Quality of Service*)

QoSP (eng. *QoS Perceived*)

RR (eng. *Reduced Reference*)

RTSP (eng. *Real Time Streaming Protocol*)

SD (eng. *Standard Definition*)

SS (eng. *Single Stimulus*)

SSCQS (eng. *Single stimulus continuous quality evaluation*)

SSIM (eng. *Structural Similarity Index*)

UDP (eng. *User Datagram Protocol*)

VBR (eng. *Variable Bit Rate*)

VoD (eng. *Video on Demand*)

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Prikaz arhitekture današnje višeuslužne mreže str. 4
Slika 2.2. Format datagrama IPv4 str. 5
Slika 3.1. Translacija QoS parametara str. 8
Slika 3.2. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika str. 17
Slika 4.1. *Unicast* i *Multicast* način prijenosa str. 21
Slika 4.2. Moguće izvedbe arhitekture videokonferencijske aplikacije str. 23
Slika 4.3. Primjena HD rezolucije na različitim uređajima str. 25
Slika 5.1. *Media layer* modeli str. 27
Slika 5.2. PSNR metrika str. 29
Slika 5.3. SSIM metrika str. 31
Slika 5.4. MSAD metrika str. 31
Slika 5.5. Delta metrika str. 32
Slika 5.6. MSU *Blurring Metric* str. 32
Slika 6.1. Prezentacija podražaja kod ACR metode str. 34
Slika 6.2. Prezentacija podražaja kod DCR metode str. 35
Slika 6.3. Prezentacija podražaja kod PC metode str. 36

POPIS TABLICA

Tablica 3.1: Razine QoS performansi str. 9

Tablica 3.2: QoS zahtjevi za prijenos zvuka str. 10

Tablica 3.3: QoS zahtjevi za video-prijenos str. 11

Tablica 3.4: Vrijednosti kašnjenja u nekim multimedijskim aplikacijama str. 11

Tablica 3.5: Usporedba karakteristika multimedijskog prometa i prometa u tradicionalnim mrežama str. 12

Tablica 6.1: Razine ocjenjivanja kod DCR metode str. 36