Iskustvena kvaliteta usluge prijenosa videosadržaja strujanjem za različite prometne slučajeve

Boljun, Dean

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:119:532027

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

ISKUSTVENA KVALITETA USLUGE PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA STRUJANJEM ZA RAZLIČITE PROMETNE SLUČAJEVE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ISKUSTVENA KVALITETA USLUGE PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA STRUJANJEM ZA RAZLIČITE PROMETNE SLUČAJEVE

QUALITY OF EXPERIENCE FOR VIDEO STREAMING SERVICE AND DIFFERENT TRAFFIC SCENARIOS

Mentor: dr. sc. Marko Matulin

Student: Dean Boljun, 0135222622

Zagreb, rujan 2017.

SAŽETAK

Cilj istraživanja ovog diplomskog rada je prikazati utjecaj gubitka i kašnjenja paketa na iskustvenu kvalitetu usluge (eng. *Quality of Experience,* QoE) prilikom prijenosa videosadržaja strujanjem. Istraživanje se provelo na skupini ispitanika koji su dobrovoljno i anonimno pristupili anketnim upitnicima koji se kasnije analiziraju, a prilikom provođenja ankete koriste se subjektivne metode mjerenja opisane u radu. Prilikom emulacije mreže korišten je program *Network Emulator for Windows Toolkit,* NEWT. Određeni mrežni scenariji uzrokovani programom NEWT različito utječu na iskustvenu kvalitetu usluge ispitanika. Analiza rezultata ankete prikazana je grafovima koji ukazuju na razlike u korisnikovoj percepciji iskustvene kvalitete usluge s obzirom na određeni mrežni scenarij u kojem se ispitivanje provodi.

KLJUČNE RIJEČI: iskustvena kvaliteta usluge; kvaliteta usluge; korisničko iskustvo; prijenos videosadržaja strujanjem; različiti prometni slučajevi; gubitak paketa; kašnjenje paketa.

SUMMARY

Main goal of the research in this graduation thesis is to present the impact of packet loss and delay on Quality of Experience, QoE for video streaming. Research was conducted on a group of respondents who voluntarily and anonymously participated in the research by completing the questionnaires that are later analyzed, and the subjective metrics were used during the research. Network emulator for Windows Toolkit, NEWT, was used during network emulation. Some network scenarios caused by the NEWT program have a different impact on the Quality of Experience of the respondents. The analysis of the research results is presented in graphs that point to differences in the users perception of the Quality of Experience according on different network scenarios in which the research is conducted.

KEY WORDS: Quality of Experience; Quality of Service; User experience; Video streaming service; Different traffic scenarios; Packet loss; Delay.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. KONCEPT ISKUSTVENE KVALITETE USLUGE 3

2.1. Definicija iskustvene kvalitete usluge - QoE 3

2.2. Vrednovanje iskustvene kvalitete 5

2.3. Korisničko iskustvo 6

2.4. Odnos između QoS i QoE 7

3. ZNAČAJKE PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA 8

3.1. Tipovi usluge, načini prijenosa i korišteni protokoli 8

3.2. Video na zahtjev 9

3.3. Video kompresija 10

3.4. Video format 10

3.5. Prijenos sadržaja visoke rezolucije – HD 11

3.6. Mrežni protokoli prijenosa videosadržaja 12

3.6.1. HTTP protokol 12

3.6.2. TCP protokol 12

3.6.3. UDP protokol 13

4. METODE ISPITIVANJA 14

4.1. Subjektivne metode mjerenja kvalitete 14

4.1.1. Metode jednostrukog podražaja (*Single Stimulus* - SS) 15

4.1.2. Metode dvostrukog podražaja (*Double Stimulus* - DS) 16

4.2. Usporedba metoda subjektivnog mjerenja kvalitete 18

5. RAZLIČITI MREŽNI SCENARIJI 20

5.1. Emulacija mreže i metode emulacije 20

5.2. Emulacija, simulacija i generiranje prometa 20

5.3. Network Emulator for Windows Toolkit 21

5.4. Korišteni mrežni scenariji i njihovi intenziteti 22

5.4.1. Gubitak paketa i intenziteti 22
5.4.2. Povećano kašnjenje i intenziteti 23
6. TESTIRANJE ISKUSTVENE KVALITETE USLUGE 24
6.1. Subjektivno mjerenje QoE 25
6.2. Testirani videosadržaj 26
6.3. Anketiranje korisnika usluge 26
6.4. Ispitanici na kojima je provedena anketa 30
7. REZULTATI ANALIZE 31
7.1. Periodički gubitak paketa s intenzitetom gubljenja svakog petnaestog paketa 31
7.2. Periodički gubitak paketa s intenzitetom gubljenja svakog petog paketa 33
7.3. Nasumični gubitak paketa s intenzitetom 0,2 ili 20% 34
7.4. Povećano kašnjenje s fiksnim kašnjenjem od 30 ms 36
7.5. Povećano kašnjenje s fiksnim kašnjenjem od 10 ms 38
7.6. Povećano kašnjenje s linearnim kašnjenjem uz donju granicu od 10 ms i gornju granicu od 70 ms u vremenskim intervalima od 10 sekundi 40
8. ZAKLJUČAK 43
LITERATURA 45
POPIS KRATICA 48
POPIS ILUSTRACIJA 50
Popis slika 50
Popis tablica 51
Popis grafikona 51

1. UVOD

U proteklih par godina usluge prijenosa videosadržaja strujanjem s Internet mreže postale su veoma popularna forma interakcije i zabave korisnika. Usluga prijenosa videosadržaja strujanjem omogućuje korisnicima pregledavanje raznih sadržaja poput korisnički generiranih videozapisa, filmova, televizijskih emisija, sportskih događanja, itd., korištenjem raznih platformi koje omogućavaju reprodukciju takvog sadržaja, poput prijenosnih računala, osobnih računala, mobilnih terminalnih uređaja, tableta, također i igraćih konzola. Usluga prijenosa videosadržaja strujanjem zauzima većinu preuzetog prometa s Internet mreže. Sve više korisnika oslanja se na mrežno bazirane usluge za potrebe zabave. Što se korisnika tiče više nije dovoljno provoditi samo objektivne metode mjerenja koje će pokazati razinu kvalitete usluge QoS (eng. *Quality of Service*), već je bitno provesti subjektivna testiranja iskustvene kvalitete usluge QoE (eng. *Quality of Experience*), koja se tiču korisnikovih doživljaja usluge baziranih na njegovoj percepciji i osobnom viđenju usluge.

U ovome radu istraživanje je provedeno ispitivanjem iskustvene kvalitete usluge prijenosa videosadržaja za različite prometne slučajeve. Kao testna platforma odabran je *YouTube* portal preko kojega se reproducirao određeni videosadržaj prikazan na prijenosnom računalu u kontroliranom okruženju. Različiti mrežni scenariji emulirani su programom *Network Emulator for Windows Toolkit* (NEWT), a u istraživanju je sudjelovalo deset ispitanika koji su dobrovoljno i anonimno pristupili anketi.

Rad se sastoji od osam poglavlja:

1. Uvod
2. Koncept iskustvene kvalitete usluge
3. Značajke prijenosa videosadržaja
4. Metode ispitivanja
5. Različiti mrežni scenariji
6. Testiranje iskustvene kvalitete usluge
7. Rezultati analize
8. Zaključak.

U drugom poglavlju definira se pojam iskustvene kvalitete usluge, njenog vrednovanja, kao i usporedba s pojmom kvalitete usluge. Također je opisan pojam korisničkog iskustva koji je veoma bitna stavka pri ispitivanju iskustvene kvalitete usluge.

Treće poglavlje pojašnjava značajke prijenosa videosadržaja raznim načinima poput prijenosa videa na zahtjev, prijenosa videa strujanjem. Opisani su pojmovi video kompresije i formata videosadržaja, također opisan je i prijenos videosadržaja visoke rezolucije. Opisani su i HTTP (eng. *Hypertext Transfer Protocol*), TCP (eng. *Transfer Control Protocol*) te UDP (eng. *User Datagram Protocol*) protokoli.

U četvrtom poglavlju opisuju se subjektivne metode ispitivanja poput subjektivne metode jednostrukog podražaja i subjektivne metode dvostrukog podražaja. U nastavku poglavlja napravljena je i usporedba subjektivnih metoda ispitivanja, te su na temelju istraživanja donijeti određeni zaključci.

U petom poglavlju opisan je program kojim se provodi emulacija mreže, uspoređeni su pojmovi mrežne simulacije i emulacije. Mrežni scenariji koji su korišteni prilikom ispitivanja, a uzrokovani djelovanjem navedenog programa, također su opisani u ovom poglavlju.

Šesto poglavlje pojašnjava anketni upitnik koji je proveden nad deset ispitanika koji su dobrovoljno pristali sudjelovati u provedbi ankete diplomskog rada. Predstavljen je sam koncept izgleda pitanja i mogućih odgovora na ista. Poglavlje također opisuje i sam videosadržaj koji ispitanici pregledavaju i kasnije ocjenjuju.

U sedmom poglavlju opisani su, te grafikonima i tablicama prikazani rezultati analize provedenih anketa za pojedine mrežne scenarije prilikom reproduciranja videosadržaja. Na temelju dobivenih rezultata iznose se određeni zaključci o komparaciji različitih mrežnih scenarija i njihovih utjecaja na ispitanike.

U osmom poglavlju donijet je zaključak o provedenom istraživanju. Uspoređeni su rezultati analize pri gubitku paketa i pri kašnjenju paketa, te na temelju usporedbi donijeti su određeni zaključci.

2. KONCEPT ISKUSTVENE KVALITETE USLUGE

2.1. Definicija iskustvene kvalitete usluge - QoE

Pojava relativno novog koncepta iskustvene kvalitete, koji se javlja u području telekomunikacija, uzrokuje usmjeravanje pažnje na mjerenje zadovoljstva samog korisnika korištenjem određenih proizvoda ili usluga. U telekomunikacijskim krugovima pojam istraživanja korisničkog iskustva i zadovoljstva korištenjem nekih proizvoda ili usluga tek je nedavno dobio na značenju, unatoč dugogodišnjem istraživanju oko iskustvene kvalitete u raznim domenama. Iskustvena kvaliteta pojam je koji se istražuje već duže vrijeme, no još uvijek slovi kao otvoreno područje istraživanja što se novijih usluga tiče.

Za razliku od primarno tehnički orijentirane kvalitete usluge QoS, poboljšanje same usluge i povećanje zadovoljstva korisnika uslugom unaprjeđuje se shvaćanjem korisničke percepcije kvalitete usluge koja se bazira na korisnički usmjerenom konceptu u multidisciplinarnom području. Predloženi modeli iskustvene kvalitete, većina njih, temeljeni su na faktorima, tj. određenom broju faktora, koji utječu na percipiranu kvalitetu usluge od strane korisnika. Ti faktori proizlaze iz konteksta korištenja usluge ili korisnika i sustava, [1].

Odredba i definicija pojedinih modela za evaluaciju iskustvene kvalitete za različite tipove usluga moguća je, no zbog subjektivne prirode iskustvene kvalitete nemoguće je definirati model za mjerenje iskustvene kvalitete koji bi vrijedio za sve telekomunikacijske usluge. Iskustvena kvaliteta slovi kao subjektivna mjera kojom se određuje zadovoljstvo krajnjeg korisnika korištenjem određene usluge ili proizvoda. Kao nadopuna kvalitete usluge QoS korisničkom perspektivom na korištenje usluge u području telekomunikacija razvijen je koncept iskustvene kvalitete usluge. Standardizacijsko tijelo ITU-T (eng. *International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*) u preporuci E.800 [2] definira kvalitetu usluge kao *"kolektivni utjecaj performansi usluge koji određuju stupanj zadovoljstva krajnjeg korisnika uslugom".*

Velik je broj subjektivnih faktora koji utječu na percipiranu kvalitetu usluge od strane krajnjeg korisnika, a prilikom ocjenjivanja kvaliteta usluga na temelju tehničkih karakteristika usluge i kvantitativnih ocjena usluge od strane krajnjeg korisnika ti se subjektivni faktori zanemaruju. Prema definiciji od strane ITU-T-a, kvaliteta usluge korisnički bi trebala biti usmjerena, a sama istraživanja uglavnom su imala fokus na utjecaj

tehničkih parametara na kvalitetu usluge, [1]. Istraživanja o kvaliteti usluge na području telekomunikacija usmjerena na ispitivanja o utjecajima objektivnih, mjerljivih mrežnih parametara i karakteristike pružane usluge provode se analizom načina kodiranja podataka, kašnjenja i gubitaka paketa. Nova metrika povezana s korisničkim iskustvom i doživljajem prilikom korištenja telekomunikacijske usluge predstavlja pojam iskustvene kvalitete koju uvodi Moorsel, [3]. Razlika između iskustvene kvalitete i tradicionalne kvalitete usluge jest u tome što kvaliteta usluge ne može izmjeriti subjektivni utjecaj na korisnika. Naglo širenje pojma iskustvene kvalitete usluge u istraživačkoj zajednici rezultiralo je velikim brojem modela mjerenja iskustvene kvalitete kao uzrok pokušavanja definiranja samog pojma iskustvene kvalitete usluge.

Proširena definicija preporuke E.800 [2] od strane ITU-T-a definira QoS kao *"sveukupnost karakteristika telekomunikacijske usluge koje zadovoljavaju potrebe krajnjeg korisnika te usluge"*, a pritom posebna pozornost je na kvaliteti usluge percipiranoj od strane korisnika (QoSP – eng. *QoS Perceived*). Iskustvena kvaliteta u proširenoj P.10 preporuci G.100 [4] od strane ITU-T-a definira se kao *"sveukupnu prihvatljivost aplikacije ili usluge, subjektivno percipiranu od strane krajnjeg korisnika"*, a standardizacijsko tijelo ETSI (eng. *European Telecommunications Standards Institute*) kao *"mjerilo uspješnosti korištenja telekomunikacijske usluge ili proizvoda temeljeno na objektivnim i subjektivnim psihološkim mjerama"* [5].

COST akcija QUALINET, istraživačka akcija dala je jedan od zadnjih prijedloga definicije iskustvene kvalitete, te je opisana kao *"stupanj zadovoljstva ili iritiranosti (eng. annoyance) korisnika aplikacije ili usluge; ona proizlazi iz njegovih očekivanja s obzirom na korist i/ili uživanje u aplikaciji ili usluzi kao rezultat osobnosti korisnika i trenutnog stanja"* [6].

Pomak u perspektivi kvalitete usluge kao isključivo tehnički usmjerenog koncepta ka višedimenzionalnom konceptu usmjerenom korisniku, gdje se uzima u obzir kontekst korištenja usluge, kao i očekivanja, iskustva i ostalo što se tiče korisnika uzrokovalo je nastajanje složenih parametara iskustvene kvalitete.

2.2. Vrednovanje iskustvene kvalitete

Mjerljivi utjecajni faktori, koji ujedno mogu biti kontrolirani, trebali bi biti temelj vrednovanja iskustvene kvalitete. Dvije različite metode koriste se prilikom vrednovanja iskustvene kvalitete, a one jesu subjektivna i objektivna metoda, [7]. Postoji više načina provođenja subjektivnog vrednovanja iskustvene kvalitete, najčešći su anketiranje korisnika i subjektivna ispitivanja. Među najzastupljenijim oblicima subjektivnog vrednovanja iskustvene kvalitete jest provođenje subjektivnih ispitivanja u testnim okruženjima.

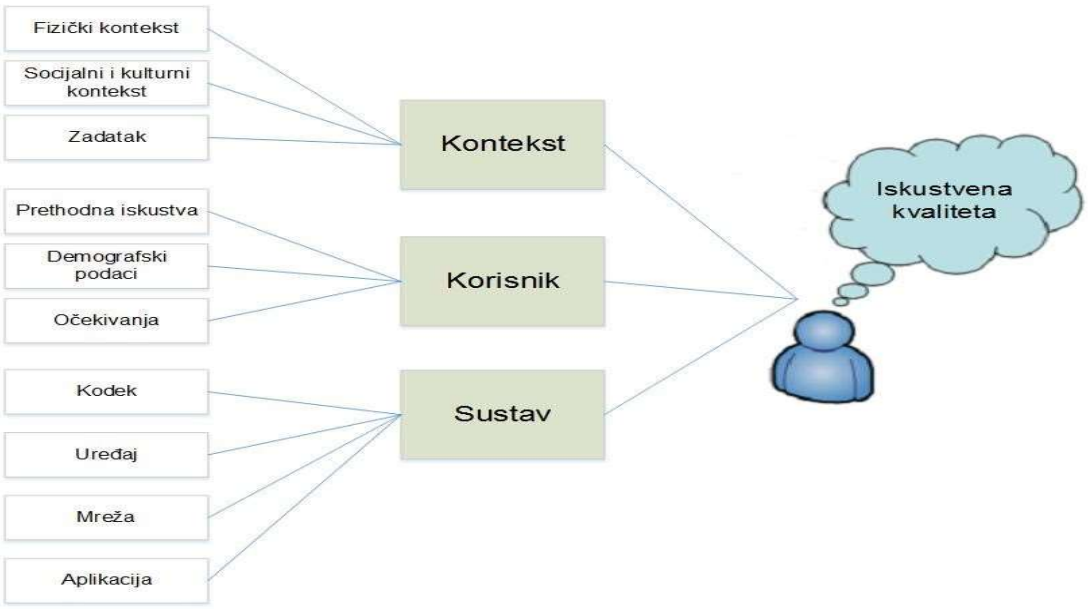
Stupanj pouzdanosti dobivenih rezultata povećava se ponavljanjem ispitivanja, tj. provođenjem eksperimenata više puta iz čega proizlazi potvrda zaključaka ispitivanja. U većini slučajeva uvjeti stvarnog okruženja ne odgovaraju uvjetima testne okoline, pa su sukladno tome rezultati istraživanja često nepouzdani. Istraživanja u kontroliranim uvjetima su dugotrajna i skupa, stoga se *crowdsourcing* ispitivanje koristi kako bi se izbjegao prethodno naveden problem, [8], [9].

Crowdsourcing podrazumijeva evaluaciju usluge sa strane povećeg broja Internet korisnika. Pouzdanost istraživanja pri ovakvom ispitivanju je velika zato što ispitivanju pristupa velik broj ljudi, no mora se obratiti pozornost na testni uzorak koji ne smije sadržavati nedosljedne odgovore, lažne ili pogrešne odgovore. Najčešće upotrebljavana metoda ispitivanja jest ljestvica kvantificiranja korisničkog iskustva MOS (eng. *Mean Opinion Score*) [10]. Prilikom vrednovanja iskustvene kvalitete ova metoda nije najvjerodostojnija zato što korisnici u većini slučajeva imaju različita pojašnjenja ocjena, kao što i ponekad oba korisnika isto ocjenjuju različita iskustva.

Korisnici većinom svoje (ne)zadovoljstvo uslugom izražavaju opisima poput loše, dobro, izvrsno, itd., no to utječe na kvantifikaciju ocjene kvalitete usluge s aspekta subjektivne iskustvene kvalitete, stoga se prilikom kvantifikacije koriste razne ljestvice za kvantifikaciju odgovora. Aspekt korisnika neće uvijek biti reprezentativan pokazatelj zadovoljstva korištenjem određene usluge. Iz tog razloga nastoji se vrednovati iskustvenu kvalitetu usluge pomoću objektivnih mjerenja i modela. Mjerljivi parametri koji su vezani uz različite dijelove usluge i različiti za svaku uslugu, te koji utječu na iskustvenu kvalitetu korisnika, potrebni su prilikom definiranja pouzdanog modela vrednovanja iskustvene kvalitete. Prijedlog podjele utjecajnih faktora od strane ITU-a je na objektivne faktore usko povezane s kvalitetom usluge i subjektivne, nazivane još i ljudske faktore poput emocija,

očekivanja itd., [11]. HCI (eng. *Human-Machine Interaction*) predstavlja pojam interakcije čovjeka i računala koji su prikazani u radu Möllera i ostalih u [12], te je tom prilikom dat i sustavan pregled faktora koji utječu na kvalitetu usluge i iskustvenu kvalitetu.

Utjecajni faktori dijele se u tri skupine: faktori sustava (sve karakteristike sustava koje utječu na iskustvenu kvalitetu korisnika), korisnički faktori (sve karakteristike korisnika koje utječu na njegovu subjektivnu ocjenu kvalitete usluge) i kontekstni faktori (trenutni faktori iz okoline i sustava prisutni za vrijeme korištenja usluge). Slika 1 prikazuje tu istu podjelu. Veliku ulogu u formiranju korisničkog (ne)zadovoljstva uslugom predstavljaju poslovni faktori vezani uz poslovni dio usluge, primjeri takvih faktora jesu cijena i popust.



Slika 1. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika, [1]

2.3. Korisničko iskustvo

Korisničko iskustvo obuhvaća niz aspekata povezanih s korištenjem proizvoda od strane korisnika: *"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.",* [13]. Dok prema [14], korisničko iskustvo 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)". "Subjektivna percepcija krajnjeg korisnika vezana uz korištenje određene usluge*

ili proizvoda", definicija od strane standardizacijskog tijela ISO (eng. *International Standards Organization*), [15]. Prilikom usporedbe korisničkog iskustva i iskustvene kvalitete, dva veoma srodna koncepta, dolazi se do zaključka da iako oba koncepta proučavaju i istražuju iskustvo korisnika, razlike između ta dva pojma veoma su znatne. Preporuka od strane Lawa i ostalih [16], koji su prilikom istraživanja došli do raznih veoma bitnih zaključaka jest taj da se korisničko iskustvo dizajnira za poboljšanje samog iskustva, tj. da se ne dizajnira prilikom osmišljavanja proizvoda/usluge. Između dviju metoda koje se koriste za mjerenje i evaluaciju, te bolje razumijevanje i tumačenje motivacije, u što spada emocionalno stanje i želja korisnika prilikom korištenja usluge, prihvaćen je velik broj kvalitativnih metoda, unatoč tome što više do izražaja kod iskustvene kvalitete dolaze kvantitativne metode.

2.4. Odnos između QoS i QoE

QoS predstavlja pojam tehničkog sagledavanja na kvalitetu usluge, a u primjeni je više od deset godina. Uvođenje stvarno vremenskih usluga poput prijenosa videosadržaja strujanjem ili VoIP-a (eng. *Video over Internet Protocol*) ne bi bilo moguće bez QoS arhitekture koja sve to osigurava. Naravno, uz sva ta nova rješenja nailazi se i na neriješene probleme i pitanja koja proizlaze iz manjka odgovarajuće korisničke opreme. Iz ovakvih navedenih razloga uveden je pojam QoE, koji služi za opisivanje kvalitete koju percipira sam korisnik prema kojemu se usmjerava pažnja, kao što se obraća pozornost i na njegovo kvantificirano subjektivno iskustvo koje je stekao korištenjem same usluge. “Dobro”, “odlično” ili pak “loše”, riječi su osjećaja kojima korisnik izražava svoje (ne)zadovoljstvo, a predstavljaju korisničku percepciju kvalitete određene usluge ili mreže o kojoj govori QoE, dok QoS predstavlja tehnički usmjeren pojam.

Na QoE utječu svi segmenti E2E (eng. *End-to-End*) lanca, a oni jesu QoS, kvaliteta podataka, QoD (eng. *Quality of Data*) i percepcijska kvaliteta, QoP (eng. *Quality of Perception*). Promatranjem E2E lanca moguće je utvrditi odnos između QoS i QoE. Aspekt korisnikove percepcije QoP opisuje njegov osobni profil u što spada npr. dob i spol, te također opisuje njegovo mentalno stanje koje se može opisivati riječima poput sretan, nervozan, nezainteresiran, itd. QoD definira se kao zahtijevana kvaliteta usluge dosljednosti podataka distribuiranog sustava pohrane podataka. QoS podijeljen na pristupni i okosnicu QoS-a, određuje kvalitetu mrežne usluge koje uključuju jezgrene i pristupne mreže. Važan čimbenik za operatore pri dizajnu i kasnijem upravljanju mrežom jest QoE, [17].

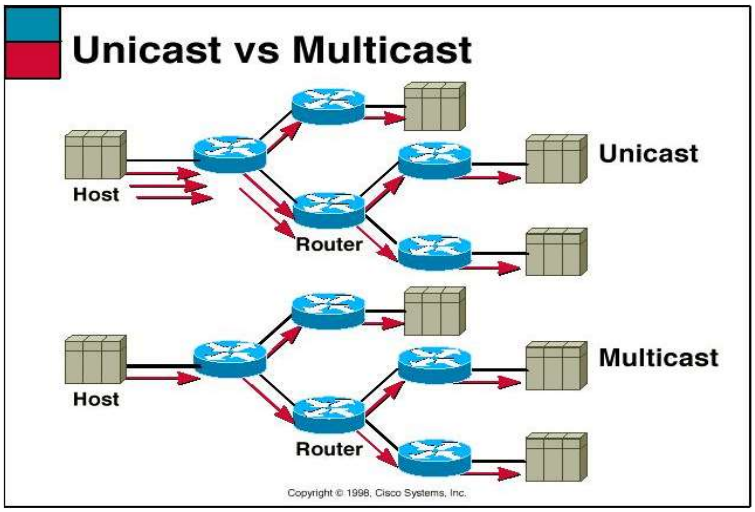
3. ZNAČAJKE PRIJENOSA VIDEOSADRŽAJA

3.1. Tipovi usluge, načini prijenosa i korišteni protokoli

Strujanje zvuka ili videa predstavlja reproduciranje sadržaja netom nakon primitka samog sadržaja koji se prenosi. Razlikuju se dva osnovna načina prijenosa videosadržaja strujanjem, a to jesu: a) strujanje videosadržaja uživo i b) strujanje videosadržaja na zahtjev. Slučaj a) bit će korišten prilikom prijenosa sportskih događaja i slično, dok će se u slučaju b) raditi o već pohranjenom sadržaju na *streaming* poslužitelju kojim se tada usred sesije može upravljati, zaustavljati ga, preskakati naprijed ili nazad.

Postoje razlike između usluge strujanja videosadržaja i usluge videa na zahtjev (VoD, eng. *Video-on-Demand*). Razliku čini to što prilikom *streaming* sesije sadržaj korisnik pregledava prije cjelokupnog preuzimanja, dok se kod VoD usluge sadržaj u cijelosti pohranjuje kako bi se omogućila reprodukcija na korisničkoj strani.

Postoji također više načina prijenosa strujanjem, a to jesu *unicast* i *multicast. Unicast* način prijenosa svakom će se pojedinom korisniku slati zasebna kopija sadržaja, dok će se prilikom *multicast* načina prijenosa jedna kopija sadržaja slati jednoj grupi korisnika *multicast* prijenosa, no nedostatak se iščitava u tome što korisnik nema više mogućnosti upravljanja videosadržajem. Podjela načina prijenosa prikazana je na slici 2.



Slika 2. *Unicast* i *Multicast* način prijenosa, [18]

Najčešće upotrebljavani protokol aplikacijskog sloja za uslugu prijenosa videosadržaja strujanjem je RTSP (eng. *Real Time Streaming Protocol*) kontrolni protokol

standardiziran od strane IETF (eng. *Internet Engineering Task Force*) u [19], koji je dizajniran posebno za slučajeve stvarnovremenskog prijenosa video i audio sadržaja.

Korisnicima se putem RTSP protokola omogućuje upravljanje sadržajem kojega reproduciraju tako da ga mogu pokretati, pauzirati, preskakati unaprijed ili unazad. UDP (eng. *User Datagram Protocol*) protokol predstavlja beskonekcijski protokol koji ne jamči isporuku paketa, iz tog razloga specifične isporuke sadržaja UDP protokol najzastupljeniji je na transportnom sloju. Dolazak paketa na odredište u ovom slučaju ovisan je o vremenu isporuke jer se ne dopušta kašnjenje paketa zato što paket koji zakasni više ne vrijedi, kao i prilikom prijenosa govora putem IP mreže ponovno slanje izgubljenih paketa nije od koristi. Praćenje odnosa veličine gubitaka paketa važno je kako bi se raspoznala QoE korisnika koji se koristi određenom uslugom, [20].

3.2. Video na zahtjev

VoD predstavlja pojam aplikacije video na zahtjev, omogućava se korisnicima odabir i reprodukcija multimedijskog sadržaja, kao i pretraživanje istog. Dvosmjerna komunikacija zahtjev je ovakvog načina prijenosa, u tom slučaju asimetrija u dolaznom i odlaznom toku je primjetljiva. U odlaznome smjeru od strane korisnika šalje se zahtjev (kontrolne informacije). Za povratnu informaciju korisnik dobiva sadržaj koji se može koristiti prilikom prijenosa „od točke prema više točaka“ ili u više slučajeva „od točke do točke“, što rezultira asimetrijom u tokovima, [21].

Što manja kašnjenja i visoka kvaliteta videosadržaja zahtjevi su i očekivanja korisnika aplikacije, [22]. Prilikom prijenosa sadržaja koji je unaprijed snimljen i pohranjen na poslužitelju, tj. ne predstavlja stvarno-vremenski sadržaj, manja kašnjenja i kolebanja kašnjenja neće imati znatan utjecaj na korisnikov doživljaj viđenja sadržaja. Korisnik reproducira sadržaj tako da ga prvo preuzme u pred-memoriju iz koje se on kasnije reproducira. Prilikom većih kašnjenja dolazi do potrebe reprodukcije cjelokupnog sadržaja iz pred-memorije čiji se prijenos tada zaustavlja i takvo čekanje na daljnju reprodukciju utječe na korisnikov doživljaj promatranog videa, [21]. “Preskakanje” sadržaja termin je koji označava pojam kada korisnici nisu zaista zainteresirani za sadržaj pa samo prelaze njime, pa samim time se dolazi do zaključka kako se kod aplikacije VoD primjećuje kratko trajanje sesija u odnosu na broj reprodukcija sadržaja.

3.3. Video kompresija

Uglavnom podijeljena na dva tipa, video kompresija može biti s gubicima i bez gubitaka. Koristeći razne matematičke modele i algoritme za smanjenje rezolucije i broja bitova za opis sadržaja koji se prenosi, a samim time i veličine videozapisa, video kompresija predstavlja tehniku kompresiranja *raw* video formata. Prilikom prijenosa videosadržaja strujanjem u video aplikacijama koje koriste Internet mrežu, mobilnu televiziju, digitalnu televiziju, video konferenciju, itd. kompresija predstavlja veoma bitnu stavku. Ako je potrebno, kompresirani video format moguće je povratiti u *raw* format zato što se prilikom kompresije, tj. kompresijskog procesa, ne gubi niti jedna informacija, što naravno slovi za kompresiju bez gubitaka. Pri ovakvoj kompresiji količina komprimiranih podataka je manja, stoga kvaliteta videosadržaja dobro je održana. Kako ovakvim načinom kompresije, kompresirani videosadržaj još uvijek sadrži veliku količinu podataka, nije podoban za prijenos strujanjem. Drugi način kompresije s gubicima predstavlja gubljenje informacija u kompresijskom procesu, gdje jednom izgubljena informacija nema mogućnost povrata. Smanjenjem veličine videosadržaja, ovom se metodom narušava i sama kvaliteta videosadržaja. Prilikom prijenosa videosadržaja strujanjem ova metoda je prihvatljivija od one bez gubitaka, unatoč smanjenoj kvaliteti videosadržaja. Potrebno je uvijek obraćanje pažnje na izvođenje kompresije pri optimalnoj razini komprimiranja podataka, kako bi se sačuvala kvaliteta videosadržaja.

3.4. Video format

Kontejner format (eng. *Container*, ponekad zvan omotač) i kodek (eng. *Codec*) jesu dvije zasebne i različite tehnologije od kojih se video formati sastoje. Jedan kontejner može koristiti više različitih kodeka koji se unutar njega koriste. Mjesta spremanja raznih dijelova datoteke, na koji način su umetnuti zajedno i koji dijelovi koriste koje kodeke čine strukturu datoteke koja se opisuje kontejnerom. Kodek zvuka i kodek videa istovremeno se nalaze u jednom kontejneru. Svrha mu je pakiranje videa i njegovih komponenata (audio/metapodataka), a prepoznatljiv je po ekstenziji datoteke poput .AVI, .MP4 ili .MOV. Kodiranje zvuka ili slike u niz bitova provodi se metodom koja se naziva kodek, a korištena je za kodiranje i predstavlja glavnu značajku kvalitete videa.

3.5. Prijenos sadržaja visoke rezolucije – HD

Generiranje velikih količina prometa sve je zastupljenije u današnje vrijeme, internetski portali poput *YouTube*, *Vimeo*, *Vevo* itd., generiraju vrlo velike količine podataka. Statistički podaci o velikim količinama prometa generiranog s raznih video portala, ukazuju na sve veću potražnju za takvim formatom sadržaja, kao i takvim preuzimanjem, pregledavanjem istog. P2P aplikacije još uvijek omogućavanjem razmjene različitih vrsta sadržaja zauzimaju većinu prometa u mreži, no unatoč tome usluga prijenosa videosadržaja strujanjem slovi kao sve popularnija i korištenija usluga u mreži, [23]. Kao rezultat sve većeg korištenja prijenosa videosadržaja strujanjem, javlja se sve više širokopojasnih priključaka, pa shodno tome i raznih uređaja kojima se korisnici služe prilikom pristupa i korištenja usluge. Na slici 3 prikazana je mogućnost reprodukcije HD (eng. *High Definition*) sadržaja na više različitih uređaja. Razmjena videosadržaja veoma je popularizirana u društvenim mrežama. Količina podataka videosadržaja prenesenog u HD kvaliteti zauzima znatno više prostora za pohranu. Moguće su uštede kapaciteta prometnog kanala, no pri prijenosu HD kvalitete neizbježne su veće količine podataka.

Kako korisnici često koriste klasičnu TV uslugu, iskustvena kvaliteta te usluge predstavlja minimum zahtijevane kvalitete usluge prijenosa videosadržaja. Iz tog razloga, prilikom investiranja u HD prijamnike i samog korištenja usluge strujanja HD videosadržaja, korisnik očekuje veću iskustvenu kvalitetu usluge od one klasične TV usluge. Shodno tome nametnuta je potreba za ispitivanjem kvalitete usluge strujanja HD videosadržaja, [20].



Slika 3. Primjena HD rezolucije na različitim uređajima, [24]

3.6. Mrežni protokoli prijenosa videosadržaja

3.6.1. HTTP protokol

HTTP strujanje predstavlja pogodnosti za pružatelja usluga i krajnjeg korisnika, a koristi TCP (eng. *Transport Control Protocol*) i Internet protokol. Znatan dio prometa na mreži koji se prenosi strujanjem, koristi isporuku putem HTTP ili TCP protokola. HTTP strujanje ima nekoliko pogodnosti za pružatelja usluge prijenosa podataka strujanjem i krajnjeg korisnika. Omogućava se uporaba postojeće Internet infrastrukture, stoga nudi povećanu skalabilnost i ekonomičnost za pružatelje usluga. HTTP strujanje također je kompatibilno s vatrozidom zato što je većina vatrozida konfigurirana da podržava njegov odlazni broj porta, tj. TCP port 88. HTTP strujanje prevenira gubitak paketa koristeći svojstvo TCP protokola ponovnog slanja paketa. HTTP strujanje prevenira gubitak paketa koristeći svojstvo ponovnog slanja paketa koje pripada TCP protokolu.

Ranije korišteni mehanizmi za HTTP strujanje bili su bazirani na progresivnom prijenosu podataka koji dopušta krajnjem korisniku pristup videosadržaju prije nego li se prijenos podataka dovrši. Kako bi se podržale značajke strujanja videosadržaja poput preskakivanja unatrag ili unaprijed, pauziranja sadržaja itd., uvedeno je preusmjeravanje preuzimanja sadržaja u datoteku koja sadrži video segmente koje je krajnji korisnik zatražio. Kako bi se navedeno provelo videozapis mora biti segmentiran, što je od velikog značaja za trenutni standardni prilagodljivi koncept prijenosa podataka strujanjem. Segmentacija videosadržaja omogućuje krajnjim korisnicima da zahtijevaju preuzimanje različito segmentiranog videosadržaja, omogućuje smanjenje ukupnog kašnjenja prijenosa i prilagođava kvalitetu videozapisa prema promjenjivim uvjetima u mreži kako bi se osigurala najbolja moguća iskustvena kvaliteta usluge krajnjem korisniku, [31].

3.6.2. TCP protokol

Najpoznatiji protokol transportnog sloja je protokol kontrole toka podataka TCP čija je najvažnija značajka pouzdanost. Implementirana zaštita od grešaka čini TCP izvrsnim protokolom za prijenos podataka opće namjene, no predstavlja nedostatak ako se radi o aplikacijama koje koriste prijenos podataka strujanjem. TCP koristi ponovno slanje paketa ako dođe do greške prilikom prijenosa paketa, što uzrokuje kašnjenje koje je zanemarivo zato što prilikom razmjene podataka ono ne predstavlja problem. TCP također omogućava kontrolu toka pri prijenosu podataka. Prilikom reprodukcije audio ili videozapisa koji se

prenosi strujanjem korisnik zahtjeva kontinuirano strujanje kako bi reproducirao sadržaj u stvarnom vremenu. Retransmisija podataka uzrokovat će kašnjenje, a visoka razina greški prilikom prijenosa ispraznit će međuspremnik (eng. *Buffer*) u programu za reproduciranje videosadržaja. Smetnje prilikom prijenosa strujanjem uzrokovat će smetnje pri reprodukciji videosadržaja. Alternativa je ignoriranje izgubljenih paketa, no to može prouzročiti greške u kvaliteti slike videozapisa. Zaključak je kako stvarno vremenski prijenos ima veću važnost od prijenosa podataka bez grešaka u slučaju prijenosa videosadržaja strujanjem, [31].

3.6.3. UDP protokol

Prilikom prijenosa podataka strujanjem javlja se potreba za protokolom koji može ignorirati greške u prijenosu. Takav protokol predstavlja UDP (eng. *User Datagram Protocol*) protokol koji je korišten kao transportni protokol aplikacijskog sloja. UDP beskonekcijski je protokol, što znači da ne postoji mehanizam za uspostavu veze između pružatelja usluge i krajnjeg korisnika.

UDP protokol ne jamči da će paketi preneseni strujanjem biti isporučeni do krajnjeg korisnika. Vatrozid (eng. *Firewall*) i posrednički poslužitelj (eng. *Proxy*) također mogu blokirati prijenos strujanjem UDP paketa zbog nepoznatih broja portova. U okruženju koje je osjetljivo na gubitak paketa, TCP paketi mogu prouzročiti neprihvatljivo povećanje kašnjenja pri prijenosu paketa. Za razliku od TCP protokola, UDP protokol ne podržava ispravku greški, kao ni kontrolu toka prijenosa podataka. Aplikacije koje se koriste za reprodukciju videosadržaja često mogu prikriti podatke s greškom koji se nalaze u videozapisu, [31].

4. METODE ISPITIVANJA

4.1. Subjektivne metode mjerenja kvalitete

Subjektivnim metodama najtočnije se procjenjuje QoE, zato što je najbolja referenca za iskustvenu kvalitetu usluge doživljaj korisnika prilikom korištenja usluge. Nakon korištenja određene usluge anketiranjem se provode ispitivanja kod kojih je veoma bitan izbor faktora na koje će se ispitivanje usmjeriti. U ovom radu promatrani videosadržaj ispitivan je u raznim uvjetima mreže, tj. mrežnim scenarijima poput gubitka paketa i kašnjenja paketa. Nakon provedenog ispitivanja računa se srednja ocjena ispitanika i to predstavlja QoE ocjenu za određene uvjete ispitivanja. Uvjeti promatranja poput udaljenosti promatranja i visine slike, izgleda prostorije i njenog osvjetljenja, kontrast i raspoloženje promatrača, odabir ispitnog sadržaja, predstavljaju faktore s kojima su subjektivni rezultati u ovisnosti, te su pokazatelj produkta statističke distribucije zato što kod ovakvih metoda i postupaka mjerenja rezultati nisu točan, konačni broj, [25].

Postoji podjela subjektivnih postupaka mjerenja kvalitete na više metoda mjerenja poput jednopodražajnog postupka s apsolutnom ocjenom kvalitete slike - SSCQS (eng. *Single stimulus continuous quality evaluation*), dvopodražajnog postupka s ocjenom izobličenja slike – DDIS (eng. *Double stimulus impairment scale*), dvopodražajnog postupka s ocjenom kvalitete slike – DSCQS (eng. *Double stimulus impairment scale*) i postupka apsolutnog kategorijskog ocjenjivanja – ACR (eng. *Absolute Category Rating*), [26].

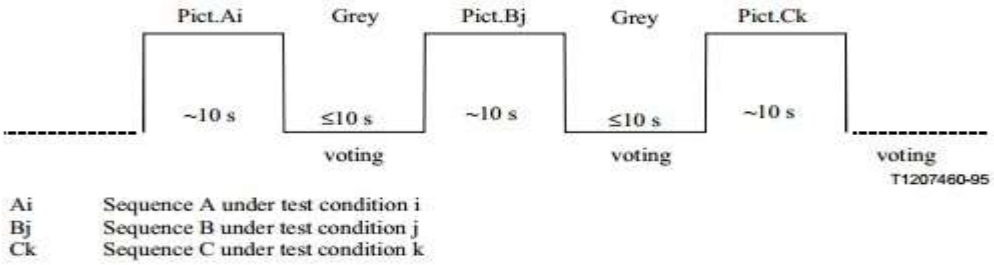
Nedostaci subjektivnih postupaka mjerenja iščitavaju se u nemogućnosti praktične primjene u stvarnim sustavima, dugotrajnosti, složenosti i pripremi mjernog okruženja. Postupci i načini mjerenja standardizirani su i opisani od strane međunarodne telekomunikacijske unije. Usporedbom podataka dobivenih objektivnim mjernim postupcima čiji se stupanj vjerodostojnosti uspoređuje i određuje sa subjektivnim mjerenjima, dobiva se slika o pouzdanosti mjerenja.

Metode subjektivne procjene kvalitete može se kategorizirati na analitičke (eng. *analytical*) i praktične (eng. *utilitarian*), takvu kategorizaciju predlaže ITU u [7], koristeći definiciju iz [27]. Ako se korisnička percepcija nad potpunim skupom ili nekim podskupom karakteristika kvalitete može analizirati, tj. raščlaniti, tada takva metoda spada u analitičke

metode subjektivne procjene kvalitete. Mjerenje pojedine karakteristike kvalitete ili cjelokupne kvalitete predstavlja praktične metode subjektivne procjene kvalitete.

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

Kategorija procjene gdje se testne sekvence ocjenjuju neovisno, sukladno tome i prikazuju pojedinačno, predstavlja ACR (eng. *Absolute Category Rating*), metodu "Apsolutne kategorizacije ocjena", koja se također naziva i metoda jednostrukog podražaja, SS (eng. *Single Stimulus*). Procjena kvalitete prikazanih sekvenci sadržaja, sa strane promatrača, odvija se nakon svake prezentacije kako je specificirano ovom metodom. Postupak ocjenjivanja kraći je ili jednak vremenskom periodu od 10 sekundi, taj se period ujedno uzima i za konstantno vrijeme ocjenjivanja, te naravno u ovisnosti o sadržaju materijala koji je testiran, skraćuje se ili produžuje trajanje prezentiranog sadržaja. Grafički prikaz vremenskih perioda prilikom prezentiranja i ocjenjivanja prikazan je na slici 4.



Slika 4. Prezentacija podražaja kod ACR metode, [28]

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.

Ponavljanjem istih testnih uvjeta pri različitim vremenskim točkama ispitivanja potreban je prilikom korištenja ACR metode za dobivanje potrebnog broja ponavljanja.

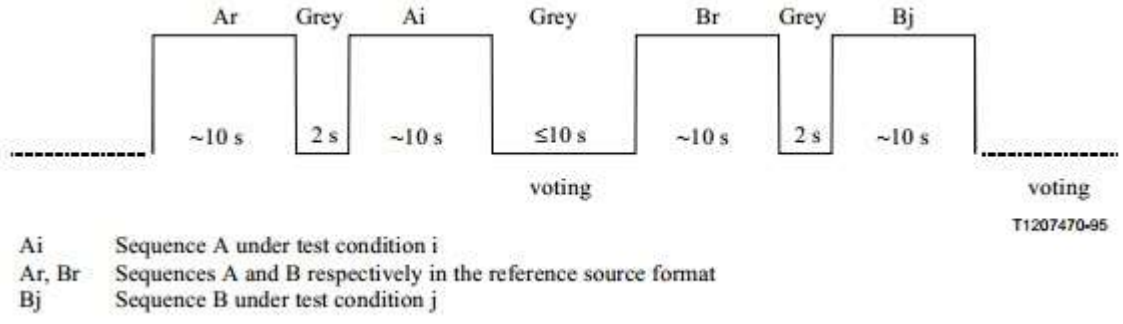
Ocjenjivačka metoda gdje se testne sekvence prikazuju pojedinačno i ocjenjuju neovisno na kategorizacijskoj ljestvici predstavlja "Apsolutno kategorijsko ocjenjivanje sa skrivenom referencom", ACR-HR (eng. *Absolute Category Rating with Hidden Reference*). Uvjet skrivene reference jest referentna verzija ispitnog slijeda, te svaki podražajni test koji mora biti uključen u predstavljenu testnu proceduru. DMOS (eng. *Difference Mean Opinion Score*), različite ocjene kvalitete, računaju se između testnih sekvenci i odgovarajućih

referenci za vrijeme analiziranja podataka. Cjelokupna procedura prethodno opisana slovi kao "skrivena referenca".

Konstantno vrijeme ocjenjivanja predstavlja vremenski period kraći ili jednak vremenu od 10 sekundi, a prezentacija sadržaja može se skraćivati ili produljiti u ovisnosti o sadržaju ispitnog materijala. Kod prethodno opisane metode zahtjeva se ocjenjivanje kvalitete prikazane sekvence, nakon svake prezentacije. Grafičko rješenje ispitne metode može također biti prikazano slikom 4, a oznake ljestvice jednake su kao i kod ACR metode. Ova metoda trebala bi biti korištena jedino prilikom ocjenjivanja videosadržaja kojega je stručnjak tog određenog područja prethodno ocijenio sa "vrlo dobrim" ili "izvrsnim" na pet-razinskoj ljestvici.

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

"Ocjena degradiranih kategorija", DCR (eng. *Degradation Category Rating*) metoda dvostrukog podražaja s ocjenom kvalitete koja se zasniva na prikazivanju testnih sekvenci u parovima, gdje izvornu referencu predstavlja prvi prikazani podražaj svakog para, a drugi podražaj, koji je također s istog izvora, prikazuje se kroz testirani sustav. Slika 5 prikazuje vremenski uzorak prezentacije podražaja gdje postupak ocjenjivanja, kada je uzeto konstantno vrijeme za ocjenjivanje, mora biti kraći ili jednak vremenu od 10 sekundi. U ovisnosti o sadržaju testnog materijala skraćeno je ili produženo trajanje prezentiranog sadržaja.



Slika 5. Prezentacija podražaja kod DCR metode, [28]

Tablica 1 prikazuje pet razina koje se koriste pri ispitanikovom ocjenjivanju pogoršanja drugog podražaja u odnosu na referentni.

Tablica 1: Razine ocjenjivanja kod DCR metode

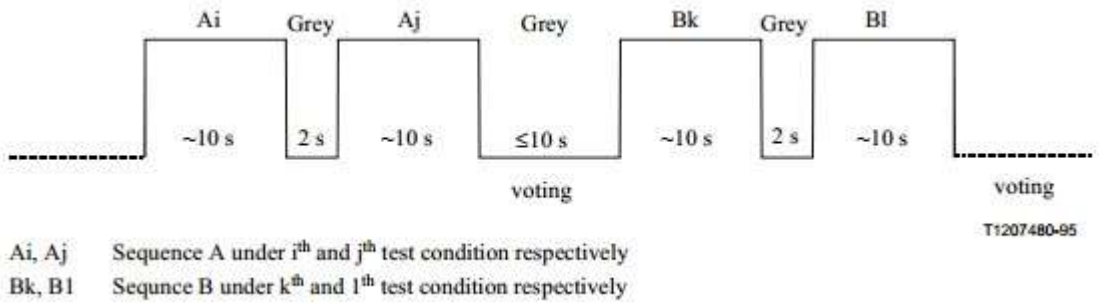
5	Neprimjetno
4	Primjetno, ali ne i neugodno
3	Neznatno neugodno
2	Neugodno
1	Vrlo neugodno

DCR metoda koristi ponavljanje istih testnih uvjeta u različitim vremenskim točkama ispitivanja kako bi se dobio potreban broj ponavljanja.

Metoda "Parne usporedbe", PC (eng. *Pair comparison method*) funkcionira tako da prikazuje prezentirane sekvence u parovima sastavljenih od jedne te iste sekvence prezentirane prvo kroz sustav koji se ispituje, a nakon toga drugim sustavom.

Nakon svih mogućih kombinacija n(n-1) svi se parovi prikazuju u oba redoslijeda moguća, s obzirom na sustav koji se ispituje npr. A, B, C, pa sukladno tome kombinacijama AB, BA, CA, itd., prikazuju se u oba moguća redoslijeda, tj. AB, BA. S obzirom na najpoželjniji element para u kontekstu s ispitnim scenarijem koji se koristi kao temelj za procjenu nakon svakog para.

Slika 6 prikazuje vremenski uzorak prezentacije podražaja gdje postupak ocjenjivanja, kada je uzeto konstantno vrijeme za ocjenjivanje, mora biti kraći ili jednak vremenu od 10 sekundi. U ovisnosti o sadržaju testnog materijala skraćeno je ili produženo trajanje prezentiranog sadržaja.



Slika 6. Prezentacija podražaja kod PC metode, [28]

PC metoda podrazumijeva ponavljanje prezentacije istih uvjeta, u različitim parovima, stoga se broj ponavljanja ne uzima nužno u obzir.

4.2. Usporedba metoda subjektivnog mjerenja kvalitete

Metode subjektivnog mjerenja kvalitete podijeljene su na one koje koriste eksplicitne reference, poput DCR, te na metode koje ne koriste eksplicitne reference poput ACR, ACR-HR, PC. Klasa metoda koja ne koristi eksplicitnu referencu ne uključuje testiranje pouzdanosti ili transparentnosti, stoga takva značajka metode čini odabir same metode ispitivanja subjektivne kvalitete veoma bitnom stavkom. Testiranje pouzdanosti s obzirom na izvorni signal zahtjeva korištenje DCR metode i čini važan faktor prilikom procjene sustava poput televizijske slike i HD formata koji su visoke kvalitete. Ostale metode mogu također biti korištene prilikom procjene sustava visoke kvalitete, no DCR metoda se pokazala kao ključna u procjeni televizijskih slika koje predstavljaju veoma visoku kvalitetu zahtjevne razine videotelefonije i videokonferencije. Ako je gledateljevo otkrivanje oštećenja važan faktor, tada se koriste komentari DCR ljestvice poput "neprimjetno", "primjetno".

DCR metoda od velike je koristi i važnosti ako se radi o provjeri pouzdanosti s obzirom na izvorni signal, kao i prilikom testiranja sustava visoke kvalitete u kontekstu multimedijske komunikacije. U DCR ljestvici podržana je usporedba s referentnom kvalitetom, kao i diskriminacija neprimjetnog/primjetnog pogoršanja.

ACR metoda slovi kao metoda koja je dobro prilagođena za kvalifikacijske testove, jednostavno i brzo se implementira i prezentacija podražaja slična je kao kod zajedničkog korištenja sustava. U ovom radu korištena je ACR metoda koja se pokazala kao najpogodnija prilikom provođenja istraživanja na videosadržaju koji se reproducirao više puta za redom u različitim prometnim slučajevima

U odnosu na ACR metodu, ACR-HR posjeduje određene prednosti uz sve prednosti ACR metode koje se odnose na brzinu i prezentaciju. Uklanjanje perceptivnog utjecaja videa iz subjektivnih ocjenjivanja predstavlja glavnu prednost ACR-HR metode u odnosu na ACR. Tom prednošću smanjuje se utjecaj određenih faktora poput referentne video kvalitete gdje razliku čine varijacije u kvaliteti kamere, scene pristranosti poput antipatije referentnog videa ili gledateljeve naklonosti, te praćenja koje stavlja u odnos korisnikovu ocjenu s ocjenom profesionalne kvalitete, na konačne rezultate. Ako se zadovolji uvjet da svi referentni videosadržaji budu najmanje "vrlo dobre" kvalitete, tada je ACR-HR metoda pogodna prilikom velikih eksperimenata, no unatoč tome ACR-HR pokazuje osjetljivost na određene nepravilnosti vrlo lako detektirane od strane izravnih diferencijalnih metoda poput DCR.

Stoga može se navesti sustavno zatamnjenje intenziteta boje kao primjer gdje ACR-HR metoda nije u mogućnosti navedeno detektirati.

PC metoda koristi se prilikom potrebe za metodom s izrazitom sposobnošću diskriminacije koja će poslužiti u slučaju ispitnih predmeta skoro iste ili gotovo iste kvalitete. PC metoda pokazuje sklonost dugotrajnosti procesa ako se postupak temelji na njoj, a pritom se ocjenjuje velik broj predmeta u istom ispitivanju. Ako dođe do potrebe, tada se koriste ACR ili DCR ispitivanja na ograničenom broju promatrača, dok će PC metoda biti korištena isključivo na predmetima ocijenjenim gotovo jednakom ocjenom, [28].

5. RAZLIČITI MREŽNI SCENARIJI

5.1. Emulacija mreže i metode emulacije

Emulacija mreže je tehnika testiranja performansi stvarnih aplikacija preko virtualne mreže. Razlikuje se od simulacije mreže gdje se primjenjuju čisto matematički modeli prometa, mrežni modeli, kanali i protokoli. Cilj je procijeniti učinak, predvidjeti utjecaj promjena ili na neki drugi način optimizirati tehnologiju donošenja odluka.

Mrežna emulacija je čin uvođenja uređaja na testnu mrežu (obično u laboratorijskom okruženju) koji mijenja protok paketa na takav način da oponaša ponašanje proizvoljne ili stvarne mreže - kao što je LAN (eng. *Local Area Network*) ili WAN (eng. *Wide Area Network*). Uređaj za emulaciju može biti računalo opće namjene s programom za izvršavanje emulacije mreže ili namjenskog emulacijskog uređaja. Neki od standardnih mrežnih atributa uređaja za emulaciju jesu: vrijeme kružnog kretanja mrežom (latencija), veličinu raspoložive širine pojasa, određeni stupanj gubitka paketa, dupliciranje paketa, preusmjeravanje paketa, korupcije i modifikacije paketa i/ili važnost mrežnog *Jittera*. Viši krajnji mrežni emulatori mogu simulirati greške poput broja bitova s greškom (eng. *Bit Error Rate*), gubitak signala (eng. *Signal Loss*), rotacija izlaznog bita i ostale.

Mrežni emulatori kao primarni cilj imaju stvaranje okruženja u kojemu je korisniku omogućeno da poveže svoje uređaje, aplikacije ili proizvode, te tako procijeni njihove performanse, poveća stabilnost i funkcionalnost u stvarnom okruženju, tj. u stvarnoj mreži. Jednom testirana u kontroliranom okruženju protiv stvarnih mrežnih uvjeta, korisnici mogu imati povjerenja da će testirana stavka ponašati se sukladno očekivanjima, [29].

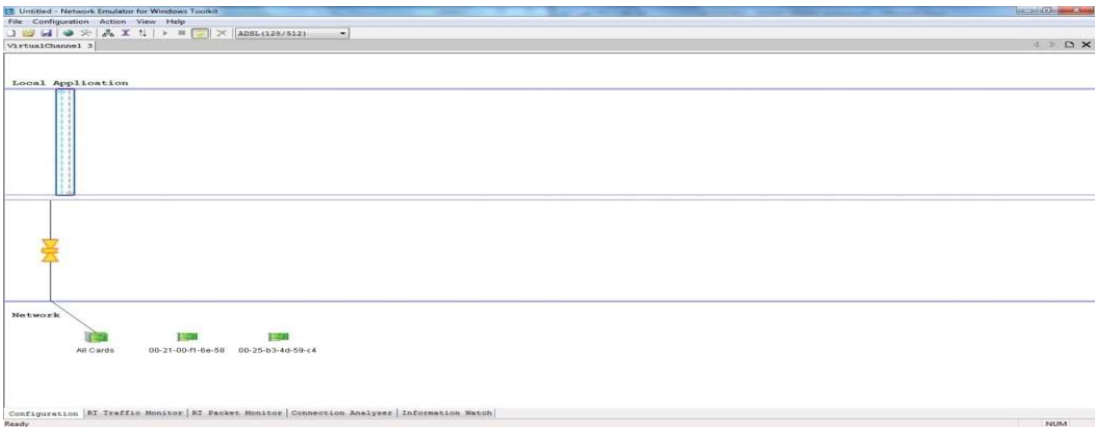
5.2. Emulacija, simulacija i generiranje prometa

Emulacija se razlikuje od simulacije po tome što mrežni emulator se ponaša kao mreža. Krajnji uređaji poput osobnih računala mogu biti povezani s emulatorom i ponašati se isto kao da su povezani na mrežu. Mrežni emulator oponaša mrežu koja povezuje krajnje uređaje, a ne same krajnje uređaje.

Simulatori mreže obično su programi namijenjeni korištenju samo na jednom računalu, uzimajući apstraktni opis mrežnog prometa kao što su proces toka dolazaka i dobavljanje statističkih podataka o samim performansama poput zaokupljenosti međuspremnika (eng. *Buffer*) u funkciji vremena. Programeri obično analiziraju vrijeme odaziva i osjetljivost aplikacije klijent-server na gubitak paketa, te emuliraju specifičan pristup mreži s različitim povratnim vremenima, protokom, bitovima s greškom u jedinici vremena, ispadanjem mreže iz rada i ispadanjem aplikacije iz rada mreže. Emulatori dolaze u raznim oblicima, mogu biti bazirani na web pretraživaču ili integrirani u razvojno okruženje uređaja, [29].

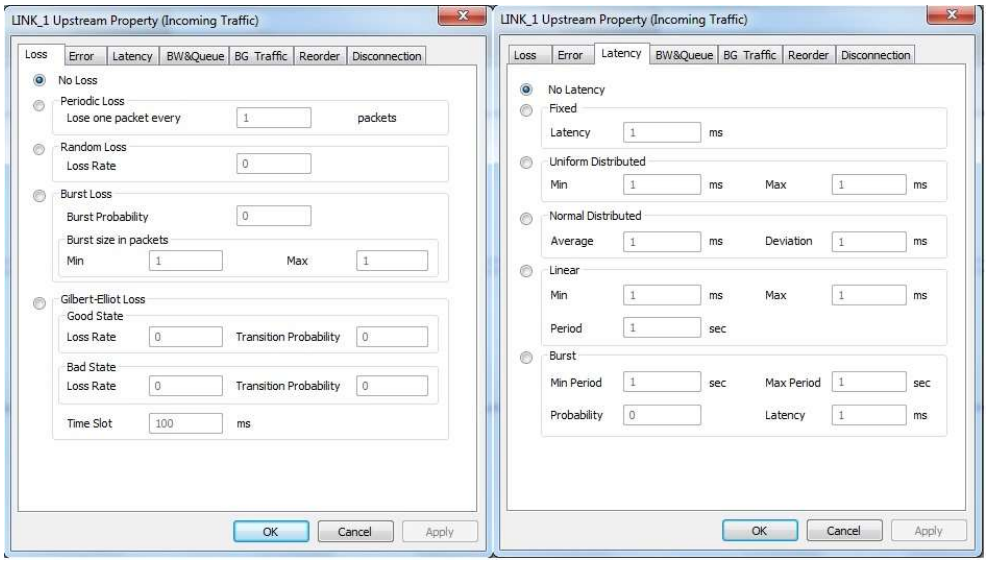
5.3. Network Emulator for Windows Toolkit

Network Emulator for Windows Toolkit, NEWT, *software*-ski programski je baziran emulator koji može emulirati ponašanje žične i bežične mreže koristeći pouzdanu fizičku vezu, kao što je *Ethernet*. Raznolikost mrežnih atributa ugrađena je u model emulacije NEWT-a, uključujući vrijeme kašnjenja preko mreže (latencija), veličinu dostupne širine pojasa, ponašanje kod čekanja, određeni stupanj gubitka paketa, redoslijed paketa i širenje pogrešaka. NEWT također pruža fleksibilnost u filtriranju mrežnih paketa koji se baziraju na IP adresama ili protokolima kao što su TCP, UDP i ICMP (eng. *Internet Control Message Protocol*). NEWT može biti korišten od strane testera raznih proizvoda i razvijača mrežno orijentiranih aplikacija za procjenu izvedbe, predviđanje utjecaja promjena ili donošenje odluka o optimizaciji tehnologije. U usporedbi s testiranjima koji se baziraju na *hardware*-u, ovakav način jeftiniji je i fleksibilnije rješenje za testiranje mrežno povezanih softvera u različitim mrežnim uvjetima. Na slici 7 prikazano je sučelje programa NEWT.



Slika 7. Sučelje programa NEWT

U ovom radu NEWT program korišten je prilikom konfiguracije mrežnih scenarija gubitaka paketa i intenziteta kašnjenja paketa. Prilikom scenarija gubitaka paketa korištene su funkcionalnosti gubljenja paketa periodički i nasumično. Što se tiče mrežnih scenarija gdje se na prijenos podataka strujanjem u mreži utjecalo podešavanjem intenziteta kašnjenja paketa, koristile su se funkcionalnosti fiksnog i linearnog kašnjenja. Na slici 8 prikazani su izbornici gubitka paketa i kašnjenja paketa.



Slika 8. Gubitak i kašnjenje paketa

5.4. Korišteni mrežni scenariji i njihovi intenziteti

Prilikom izvršavanja testiranja iskustvene kvalitete videosadržaja, na videosadržaj utjecat će se atributima gubitaka paketa, te kašnjenja paketa. Ova su dva atributa interesantna prilikom testiranja zato što se njihovom uporabom kao rezultat dobiva konkretna degradacija prema kojoj se provodi anketni upitnik.

5.4.1. Gubitak paketa i intenziteti

Kao metode gubitaka paketa prilikom provođenja testiranja u NEWT programu s virtualnim linkom, korištene su smetnje u vidu periodičkog gubljenja paketa i nasumičnog gubljenja paketa. Intenziteti gubitaka paketa bit će periodičko gubljenje jednog paketa na svakih petnaest i jednog paketa na svakih pet, strujanjem prenesenih paketa. Što se tiče nasumičnog gubitka paketa izborom programa ispitivat će se kvaliteta prilikom intenziteta gubljenja paketa od 0,2 (20%), što znači da je u 20% vremena cjelokupnog trajanja

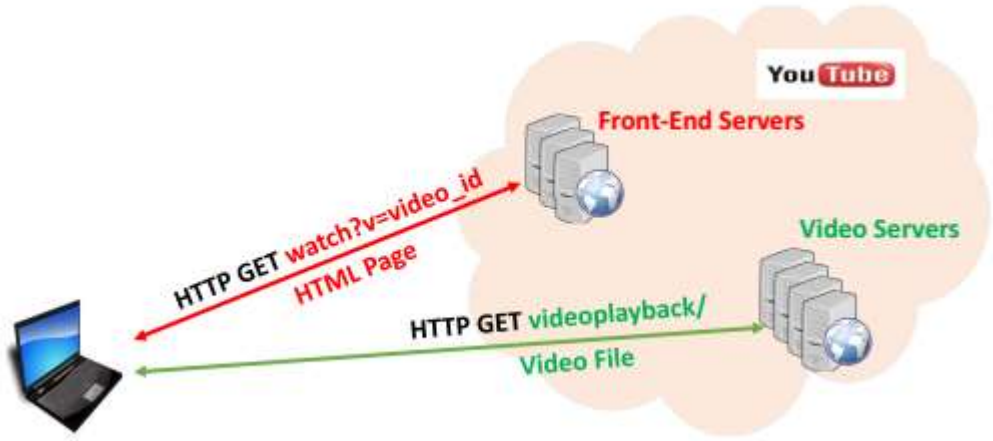
videosadržaja dolazilo do gubitka paketa. *YouTube* koristi TCP protokol koji zahtjeva retransmisiju paketa, stoga će gubitak paketa imati velik utjecaj na početak, premotavanje i neprekidnost reprodukcije videosadržaja, te održavanje reprodukcije u HD kvaliteti koju očekuje korisnik, stoga će samim time utjecati i na iskustvenu kvalitetu. Prilikom provođenja istraživanja konfiguriran je intenzitet gubitaka paketa za tri različita prometna slučaja, a kasnija komparacija analize rezultata dostatan je pokazatelj utjecaja gubitka paketa na QoE.

5.4.2. Povećano kašnjenje i intenziteti

Prilikom mrežnog scenarija gdje će se na prikazivani videosadržaj, koji se prenosi strujanjem s *YouTube* portala, utjecati povećanjem kašnjenja paketa postoje dvije vrste kašnjenja koje će se uzeti u obzir. Te dvije vrste jesu fiksno, koje predstavlja kašnjenje paketa u fiksno određenom vremenu, i linearno kašnjenje gdje je potrebno odrediti donju i gornju granicu kašnjenja uz također određeni vremenski interval kojim se kašnjenje povećava. Što se tiče fiksnog kašnjenja provesti će se dva mrežna scenarija u kojima će fiksno kašnjenje biti postavljeno na 10 ms i 30 ms. Linearno kašnjenje bit će provedeno jednom kao mrežni scenarij i to s vrijednostima donje granice od 10 ms, gornje granice od 70 ms i vremenskim intervalom povećanja kašnjenja od 10 ms.

6. TESTIRANJE ISKUSTVENE KVALITETE USLUGE

U ovome radu testiranje iskustvene kvalitete usluge prijenosa videosadržaja strujanjem provesti će se putem *YouTube* portala prikazivajući videosadržaj kraći od dvije minute u HD kvaliteti. *YouTube* je web stranica za dijeljenje videosadržaja osnovana 2005. godine, a kupljena od strane *Googlea* u 2006. godini. Od 2015. godine, *YouTube* jedna je od najpopularnijih *streaming* usluga, gdje je sav sadržaj generiran od strane korisnika i broji više od milijardu korisnika. Svaki video na *YouTubeu* povezan je s bazom HTML stranice njenim URL-om koji je obično u obliku http://www.youtube.com/watch?v=video_id. Baza HTML stranice sastoji se od više dijelova: opis videa, implementirani flash video player, korisnički komentari i popis povezanih videozapisa. Ugrađeni video player dohvaća URL video datoteke iz baze HTML stranice. Video se nalazi na drugačijim serverima od onih HTML stranice, a takvi serveri nazivaju se video poslužiteljima.



Slika 9. Prikaz prijenosa videosadržaja s YouTube portala, [30]

Okvir prijenosa videozapisa usluge *YouTube* i obrasca zahtjeva videozapisa prikazani su na slici 9. *YouTube* video *streaming* uglavnom koristi naprednu tehniku preuzimanja. Na strani poslužitelja, videozapisi dostavljeni su kao regularni HTTP objekti. Poslužitelji ne održavaju nikakva stanja. Kako bi se minimizirala pojava *jitter*-a prilikom reprodukcije, ugrađeni video *player* čeka da se napuni određen dio međuspremnika (eng. *Buffer*) prije početka reprodukcije.

Jednom kada međuspremnik dosegne početnu razinu napunjenosti (eng. *initial buffer*), tada kreće reprodukcija videozapisa. Podaci prikupljeni putem HTTP veze poslani su

u međuspremnik odakle video *player* "čita" spremljeni videozapis. Dok god količina podataka koja se nalazi u međuspremniku održava višu razinu od one "minimalnog reproducirajućeg međuspremnika" (eng. *minimal playout buffer*), reprodukcija se održava bez zastajkivanja. Ako zbog određenih smetnji u mreži, razina napunjenosti međuspremnika podacima padne ispod razine "minimalnog reproducirajućeg međuspremnika", tada će reprodukcija biti zaustavljena, tj. prekinuta. Kada se podaci u međuspremniku iznova napune, tada se reprodukcija nastavlja. U ovome radu korištenjem posebnog alata za ometanje prometa u mreži, tj. simulaciju raznih prometnih slučajeva u mreži, djelovat će se na kvalitetu isporuke videozapisa tehnikama gubitka paketa, kašnjenja paketa, itd. Određeni videozapisi bit će reproducirani ispitanicima više puta s različitim parametrima koji utječu na iskustvenu kvalitetu videosadržaja koji se prenosi strujanjem, [30].

6.1. Subjektivno mjerenje QoE

Subjektivna mjerenja predstavljaju mjerenja QoE bazirana na prikupljenim podacima direktno od korisnika koji izražavaju svoje iskustvo s korištenom uslugom. Određen broj osoba izloženi su video usluzi u kontroliranom okruženju gdje se od njih traži da ocjene uslugu sukladno linearnoj skali za ocjenjivanje. Zbog provođenja testiranja s ljudskim subjektima, na ishod provedenog testa mogu utjecati faktori poput fizičkog i psihološkog stanja osobe, što također može utjecati na korisnikovu pristranost. Faktore koje je teško jasno definirati pri mjerenju, mogu biti klasificirani kao (1) korisnički neovisni: korisnički interesi, svrha (edukacija, zabava), (2) bazirani na sadržaju: žanr, starost sadržaja i popularnost, (3) ovisnost o uređajima: kvaliteta Internet veze, veličina ekrana, te mogućnosti uređaja, [32]. Takve subjektivne metrike podložne su pristranosti, stoga mišljenja jednih ispitanika mogu varirati u odnosu na druge. Najbolje rješenje prilikom mjerenja efekta ovih faktora je prikupiti direktne povratne informacije od više korisnika koristeći robusne metodologije uzorkovanja i tehnike statističke analize kako bi se izbjegla pristranost korisnika.

Ljestvica kvantificiranja korisničkog iskustva MOS, slovi kao najpopularnija subjektivna metoda mjerenja često korištena prilikom kvantificiranja tih faktora. Korisnici gledaju video i ocjenjuju ga putem ljestvice za ocjenjivanje sastavljene od pet razina: 1 – vrlo loše, 2 – loše, 3 - srednje, 4 – dobro, 5 – izvrsno. Uporaba MOS ljestvice prilikom subjektivne metode mjerenja kvalitete postala je standard. No, i dalje je dosta komplicirano učiniti MOS mjerenja pouzdanim i standardnim, zato što je prisutan utjecaj ljudskih

psiholoških faktora i pristranosti koji se trebaju uzeti u obzir. Stoga, kako bi se dobro gradirala MOS ljestvica, veoma je potrebno dobro poznavanje i razumijevanje psihologije korisnika kako bi se predvidjelo MOS ocjenjivanje.

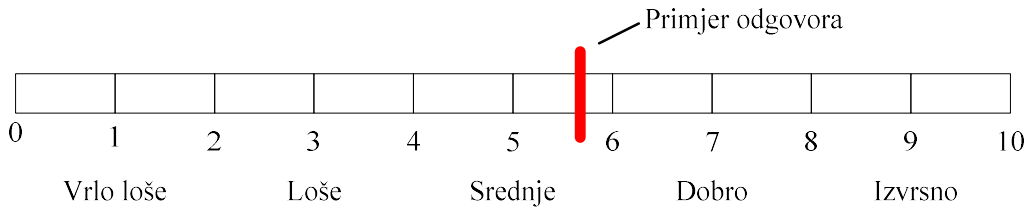
6.2. Testirani videosadržaj

Prilikom provođenja testiranja nad ispitanicima u različitim mrežnim scenarijima koji su utjecali na reprodukciju, a samim time i kvalitetu videosadržaja, prenosio se strujanjem s *YouTube* stranice videosadržaj pod nazivom "*Nature HD and Slow Motion moments,,in and out of the water*", čiji je URL: https://www.youtube.com/watch?v=-Oi3jLfTIaU. Ovaj videosadržaj u trajanju jedne minute i četrdeset jedne sekunde prikazuje razne životinje i biljke iz prirode u tehnici snimanja *slow motion* što predstavlja usporeno snimanje.

Cilj prilikom pregledavanja videosadržaja je taj da se sadržaj reproducira u HD kvaliteti, odnosno u kvaliteti 720p (1280 x 720 px) koja se također naziva HD *ready*. Ta kvaliteta prikazivanja predstavlja progresivni format HDTV signala kojeg čini 720 horizontalnih linija i omjer slike (eng. *Aspect ratio* (AR)) 16:9. Prilikom modificiranja raznih mrežnih scenarija NEWT programa kojima će se utjecati na degradaciju videosadržaja, pojasna širina (eng. *Bandwidth*) ostaje uvijek postavljena na ograničenje od 2 Mbit/s.

6.3. Anketiranje korisnika usluge

Anketiranje je provedeno na ispitanicima koji se po prvi puta susreću s ovim videosadržajem. Isti videosadržaj pregledavaju više puta uz određene promjene mrežnog scenarija, tj. performansi mreže kojom se videosadržaj prenosi do korisnika/ispitanika. U nekoliko slučajeva provođenja ankete nije se mijenjao mrežni scenarij prilikom ponovne reprodukcije, tj. nije se utjecalo na performanse mreže. Prilikom provođenja testiranja pažnja je usmjerena na subjektivne parametre, koji su u ovakvim situacijama gdje se ispituje korisnikov doživljaj pregledanim videosadržajem, mnogo bitniji od objektivnih parametara. Anketni upitnik sastoji se od sedam pitanja koja su pojašnjena u nastavku teksta. Prilikom ocjenjivanja ispitanici su svoje odgovore zapisivali na MOS ljestvici gradiranoj od 0 do 10. Primjer sa slike 10, pojašnjava rješavanje upitnika gdje je svaki ispitanikov odgovor percipiran određenom gradacijom.



Slika 10. Primjer gradacije odgovora u anketi

Povlačenjem okomite linije prilikom odgovaranja na postavljena pitanja u anketi s ponuđenim vrijednostima od 0 do 10, ispitanik izražava svoje zadovoljstvo i mišljenje. Ljestvica gradirana brojevima za lakšu orijentaciju ispitanika koristi i tekstualno pojašnjenje. U slučaju gdje se prilikom odgovaranja na anketno pitanje zatraži od ispitanika da odgovori zaokruživanjem, tada postoji mogućnost zaokruživanja jednog ili više rješenja ovisno o tome kako je anketa formulirana.

1. Kakva je razina kvalitete odgledanog videosadržaja?

Prvo pitanje ankete prikuplja općenitu informaciju o zadovoljstvu odgledanog sadržaja. Ispitanik označavanjem razine kvalitete bilo gdje na ljestvici izražava svoje (ne)zadovoljstvo odgledanim sadržajem. U ovisnosti o korisnikovom doživljaju, on na ljestvici može označiti ocjene od 0 do 10, ili pak riječima pojašnjeno kao: “Vrlo loša kvaliteta”, “Loša kvaliteta”, “Srednja kvaliteta”, “Dobra kvaliteta”, “Izvrsna kvaliteta”. Na slici 11 prikazan je primjer ponuđenih odgovora prvog pitanja.



Slika 11. Primjer ponuđenih odgovora na prvo pitanje u anketi

2. Jeste li primijetili pojavu bilo kakvih smetnji prilikom reprodukcije videosadržaja?

Na drugo pitanje u anketi ispitanik odgovara zaokruživanjem ponuđenih odgovora. Korisniku su ponuđene dvije mogućnosti odgovora, stoga ako je prilikom gledanja videosadržaja primijetio bilo kakve smetnje odgovorit će zaokruživanjem ponuđenog odgovora pod A) DA, a ako nije primijetio nikakve smetnje prilikom reprodukcije tada zaokružuje ponuđeni odgovor pod B) NE. Ako je ispitanikov odgovor pod B) NE, tada on ne odgovara na pitanja pod rednim brojevima tri, četiri, pet, šest, već prelazi na pitanja sedam.

3. Ako ste primijetili degradaciju, kako biste je opisali?

Treće anketno pitanje od korisnika traži da zaokruži opisanu smetnju koju je primijetio prilikom gledanja videosadržaja. Takva povratna informacija dovodi do zaključka ponašanja reprodukcije i same kvalitete videosadržaja u raznim scenarijima mreže pri određenim različitim intenzitetima utjecanja na performanse mreže. Određeni gubitak paketa primjerice može uzrokovati da korisnik čeka na početak reprodukcije videosadržaja ili u nekim trenucima usred izvođenja zastajkuje ili se zaustavi skroz te utječe na doživljaj gdje korisnik može i odustati od pregledavanja sadržaja ako takvo reproduciranje postane frustrirajuće.

Korisniku je dopušteno označiti više ponuđenih odgovora, a mogući odgovori su:

A) Potrebno je neko vrijeme da video krene.
B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja.
C) Video zastajkuje na kraće vrijeme.
D) Video zastajkuje više puta na duže vrijeme.
E) Kvaliteta videa niža od očekivane.
F) Kvaliteta videa mnogo niža od očekivane.
G) Došlo je do gubitka veze.

4. Koliko ste često uočili smetnje prilikom reprodukcije videosadržaja?

Četvrto pitanje ispituje korisnika koliko je puta zamijetio, tj. koliko učestalo su se pojavljivale smetnje pri reprodukciji videosadržaja od samoga početka do samog kraja videozapisa. Prilikom gubitka paketa periodički ili slučajno primjećuje se prepoznaje li korisnik smetnju prilikom reprodukcije. Ponuđeni odgovori za ovo pitanje gradacija su od 0 do 10 na ljestvici prikazanoj na slici 12.



Slika 12. Primjer ponuđenih odgovora na četvrto pitanje u anketi

5. Kako su se na Vas odrazile smetnje prilikom pregledavanja videosadržaja?

Ovo pitanje koje u anketi slovi kao peto, znatan je pokazatelj utjecaja pada kvalitete usluge na korisničko psihološko stanje. Kako se u ovoj anketi radi o ispitanicima koji prvi put pregledavaju ovaj videosadržaj, zanimljiv je ishod, tj. ocjena koju će ovom prilikom dati zato što podnošenje smetnji po pretpostavkama ovisi od osobe do osobe. Slika 13 prikazuje ponuđene odgovore za peto pitanje.



Slika 13. Primjer ponuđenih odgovora na peto pitanje u anketi

6. Uzevši u obzir zapažene degradacije, njihovo trajanje i broj, kojom biste ocjenom opisali Vaše cjelokupno iskustvo gledanja videosadržaja?

Šesto anketno pitanje nudi ispitaniku ljestvicu na kojoj može gradirati od 0 do 10, što pojašnjeno riječima izgleda ovako: “Vrlo loše”, “Loše”, “Srednje”, “Dobro”, “Izvrsno”. Ovdje korisnik ocjenjuje, tj. iznosi svoje cjelokupno iskustvo odgledanog videosadržaja, uzimajući u obzir primijećene degradacije koje su povremeno nastupale prilikom reprodukcije. Na temelju ovih ocjena može se iščitati kako postoje različita mišljenja ljudi i stavovi prema degradacijama, pa će stoga neki od ispitanika na istu degradaciju reagirati drugačijom ocjenom. Slika 14 prikazuje ljestvicu za odgovore na šesto pitanje.



Slika 14. Primjer ponuđenih odgovora na šesto pitanje u anketi

7. Uz pretpostavljenu HD (720p) kvalitetu slike videosadržaja, kako ste zadovoljni kvalitetom kojom se videosadržaj reproducirao?

Posljednje pitanje odnosi se na zadovoljstvo ispitanika kvalitetom slike videosadržaja koja je za ovo testiranje pretpostavljena kao HD kvaliteta na *YouTube playeru* prikazana u postavkama kvalitete kao 720p. U ovisnosti o tome je li prilikom reprodukcije bilo degradacija koje su utjecale na kvalitetu slike ili nije ispitanik izražava svoje (ne)zadovoljstvo

ocjenom na skali od 0 do 10, pojašnjenoj riječima: “Vrlo loša kvaliteta”, “Loša kvaliteta”, “Srednja kvaliteta”, “Dobra kvaliteta”, “Izvrsna kvaliteta”. Slika 15 prikazuje ljestvicu gdje ispitanik označava svoje mišljenje o kvaliteti slike videosadržaja.



Slika 15. Primjer ponuđenih odgovora na sedmo pitanje u anketi

6.4. Ispitanici na kojima je provedena anketa

Ispitanici koji su uključeni u ispitivanje ovog diplomskog rada jesu osobe koje nisu upoznate s pojedinostima rada i samim ciljem istraživanja. Njihov doživljaj prezentiranog videosadržaja, ako je prisutna degradacija utjecajem NEWT programa, varira sukladno određenim parametrima pojedinog testa. Ispitanici kod kojih nije bila prisutna degradacija također će izraziti svoj doživljaj odgledanog videa i ocijeniti ga u skladu sa svojim stavovima, zanimanjima, očekivanjima i psihičkim stanjem u tom trenutku. Raspon dobi ispitanika je između 10 i 70 godina.

U raznim situacijama prikazivan im je videosadržaj uz različite scenarije. Iako su neki od njih bili zajedno u prostoriji video im je uvijek bio prikazivan pojedinačno kako ne bi prilikom reproduciranja izražavali svoje doživljaje pa time utjecali na mišljenja jedno drugom. Anketa se provodi tako što ispitanik odgleda videosadržaj više puta s raznim NEWT mrežnim scenarijima, te nakon svakog odgledanog puta popunjava anketu. Ispitanik nije dužan videosadržaj odgledati u cijelosti, već može prekinuti reprodukciju u bilo kojem trenutku. Analizom dotičnih ispitanika rezultati anketiranja prikazani su u sedmom poglavlju. Identiteti ispitanika ostat će anonimni, a ispitivanju su oni pristupili dobrovoljno.

7. REZULTATI ANALIZE

Rezultati provedenog ispitivanja predstavljeni su kroz nekoliko sljedećih potpoglavlja, koja će opisivati razne scenarije u mreži,. Analizirat će se mrežni scenariji prilikom gubitaka paketa i kašnjenja paketa. Gubitak paketa može biti periodički ili slučajan (nasumičan), a kašnjenje fiksno ili linearno, te svi ti parametri gubitka i kašnjenja paketa su podesivi u NEWT programu.

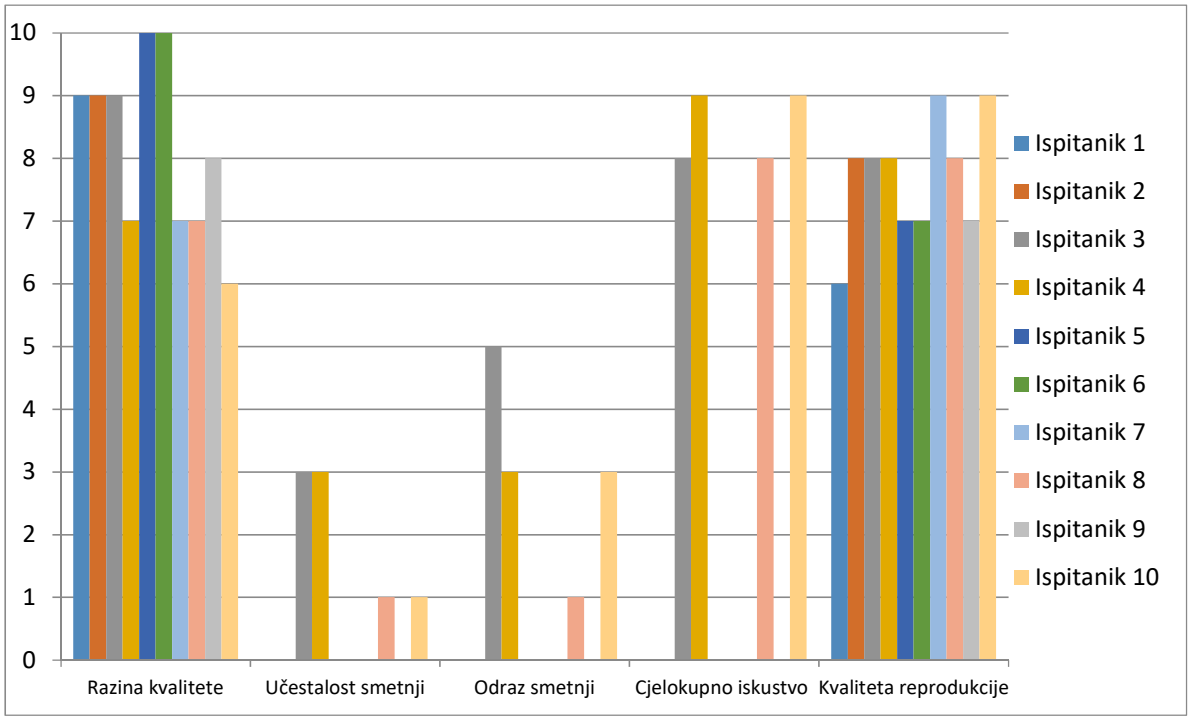
7.1. Periodički gubitak paketa s intenzitetom gubljenja svakog petnaestog paketa

U slučaju mrežnog scenarija gdje se gubi svaki petnaesti paket, na prvo pitanje iz ankete koje traži ocjenu razine kvalitete odgledanog sadržaja pet je korisnika video ocijenilo s izvrsnom kvalitetom, četiri korisnika s ocjenom dobra kvaliteta i samo jedan sa srednjom kvalitetom. Na drugo pitanje o zamjećivanju degradacije tek su četiri ispitanika odgovorila s da, dok su ostalih šest odgovorili s ne. Odgovori na treće pitanje ispitanika koji su primijetili degradaciju prikazan je tablicom 2.

Tablica 2: Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje gubitka svakog petnaestog paketa

	Pitanje 2	Pitanje 3
Ispitanik 1	NE	-
Ispitanik 2	NE	-
Ispitanik 3	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene
Ispitanik 4	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene
Ispitanik 5	NE	-
Ispitanik 6	NE	-
Ispitanik 7	NE	-
Ispitanik 8	DA	E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 9	NE	-
Ispitanik 10	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene

Iz grafikona 1 može se iščitati kako je na prvo pitanje o razini kvalitete videosadržaja većina ispitanika odgovorila s dobrim i izvrsnim ocjenama. Ispitanici pod rednim brojem tri, četiri, osam i devet izjasnili su se kako su uvidjeli degradaciju prilikom prikazivanja videosadržaja. Njih troje je zamijetilo samo malo duže vrijeme potrebno za početak prikazivanja videosadržaja, dok je jedan ispitanik kao odgovor zaokružio nezadovoljstvo kvalitetom videa. Na pitanje o tome koliko su često uočili smetnje prilikom reprodukcije korisnici su uglavnom odgovorili s ocjenama male i zanemarivo male učestalosti, te također smetnje se na njih nisu baš odrazile pa su stoga na peto pitanje odgovorili s malo, nimalo i neznatno. Kao cjelokupno iskustvo gledanja videosadržaja pri ovakvom mrežnom scenariju i degradacijama tri od četiri ispitanika ocijenili su sadržaj s izvrsnom ocjenom. Veoma dobre ocjene dane su prilikom ocjenjivanja kvalitete slike videosadržaja s obzirom na očekivanu HD rezoluciju.



Grafikon 1. Prikaz rezultata prve ankete

7.2. Periodički gubitak paketa s intenzitetom gubljenja svakog petog paketa

U mrežnom scenariju gdje je intenzitet gubljenja postavljen na gubitak svakog petog paketa korisnici su na prvo pitanje dali nešto niže ocjene u odnosu na prvo pitanje iz prijašnjeg mrežnog scenarija. Svih deset ispitanika primijetilo je degradaciju prilikom gledanja videosadržaja, a njihova zapažanja raznih degradacija prilikom reproduciranja opisana su u tablici 3.

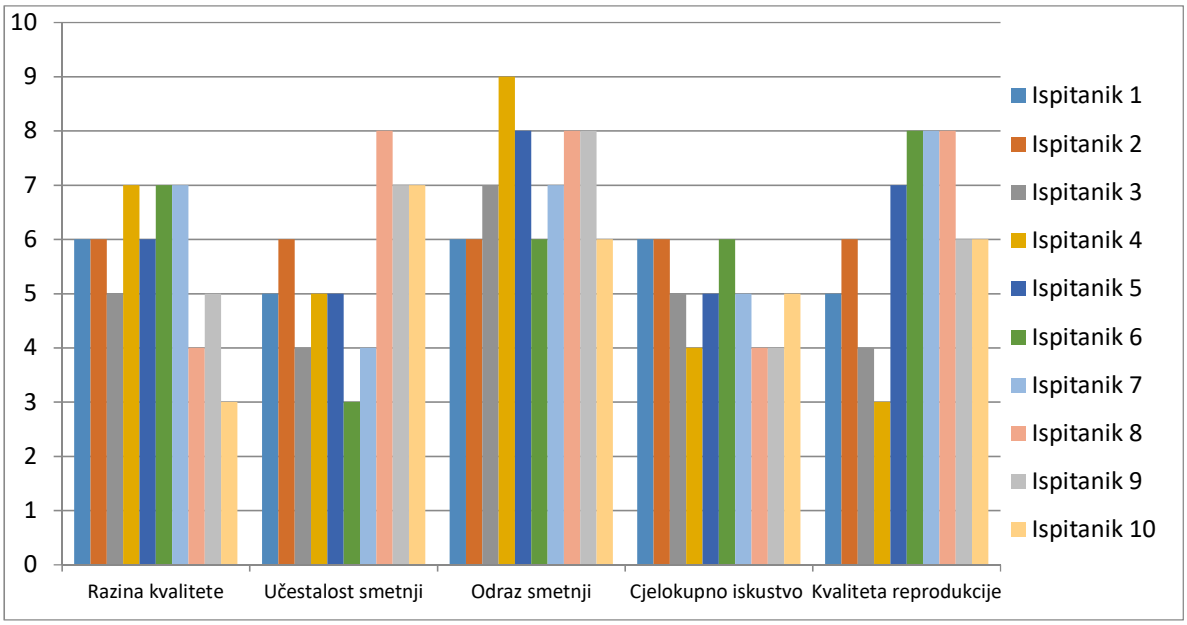
Tablica 3: Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje gubitka svakog petog paketa

	Pitanje 2	Pitanje 3
Ispitanik 1	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja
Ispitanik 2	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja
Ispitanik 3	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja, C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 4	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 5	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja, C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 6	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene
Ispitanik 7	DA	C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 8	DA	D) Video zastajkuje više puta na duže vrijeme, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 9	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 10	DA	F) Kvaliteta videa mnogo niža od očekivane

Prilikom gubitka svakog petog paketa u mreži primjećuje se kako ispitanici pokazuju intenzivnije zapažanje degradacija što se vidi iz zaokruženih odgovora poput potrebnog dužeg vremena za početak reprodukcije ili mnogo niže kvalitete od očekivane.

Na grafu 2 prikazuje se kako je pri ovom mrežnom scenariju porasla učestalost uočenih smetnji prilikom reprodukcije, kao i utjecaj smetnji na ispitanikov doživljaj, što je

naravno utjecalo i na sam korisnikov doživljaj cjelokupnog iskustva gledanja videosadržaja. Posljednje pitanje pri ovom scenariju pokazuje nešto manje zadovoljstvo korisnika kvalitetom video slike za koju se pretpostavlja isporuka u HD kvaliteti.



Grafikon 2. Prikaz rezultata druge ankete

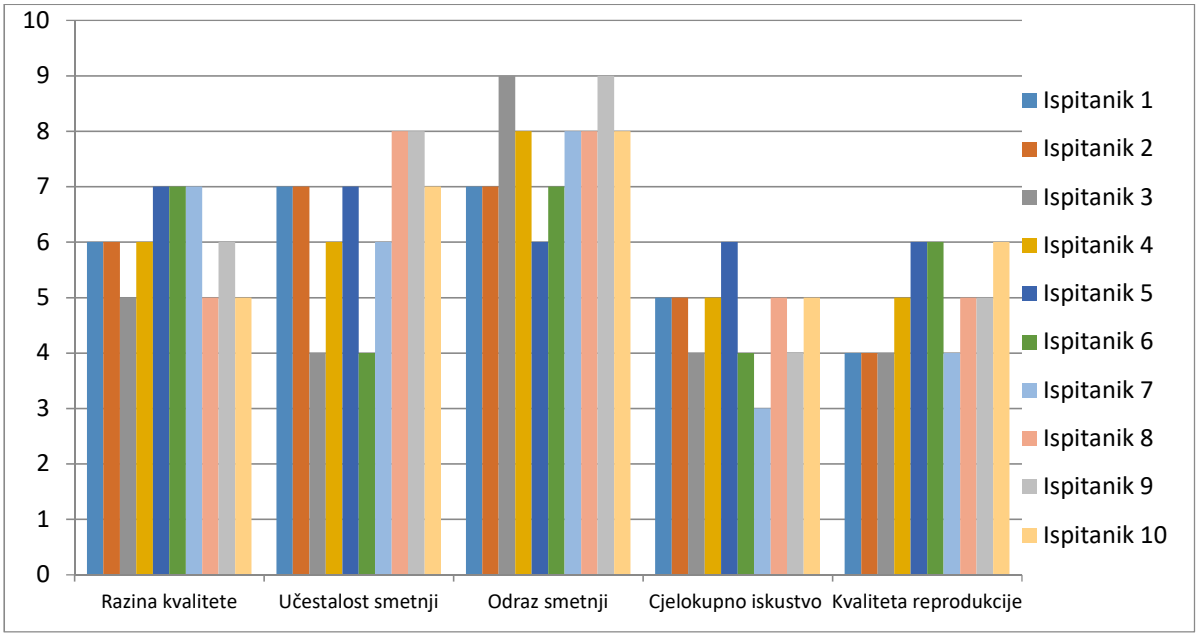
7.3. Nasumični gubitak paketa s intenzitetom 0,2 ili 20%

Trećom anketom ispitanici su ocjenjivali percipiranu kvalitetu videosadržaja koji se prenosio u mrežnom scenariju u kojemu NEWT program nasumičnim odabirom paketa uzrokuje gubitak paketa uz intenzitet od 0,2 ili 20%. Pri pregledavanju videosadržaja u ovom mrežnom scenariju svi su ispitanici primijetili određene degradacije. Unatoč tome što su većinom na prvo pitanje o općenitoj kvaliteti odgledanog sadržaja ispitanici odgovorili s ocjenama koje spadaju pod gradaciju od pet do sedam, što predstavlja dobru kvalitetu, kasnija analiza odgovora ne daje takvu sliku.

Tablica 4: Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje nasumičnog gubitka intenziteta 20%

	Pitanje 2	Pitanje 3
Ispitanik 1	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja, C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 2	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja
Ispitanik 3	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja, C) Video zastajkuje na kraće vrijeme, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 4	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja, C) Video zastajkuje na kraće vrijeme, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 5	DA	E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 6	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 7	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene, D) Video zastajkuje više puta na duže vrijeme
Ispitanik 8	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 9	DA	C) Video zastajkuje na kraće vrijeme, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 10	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja, C) Video zastajkuje na kraće vrijeme

Grafikon 3 prikazuje kako su ispitanici primijetili veliku učestalost smetnji, te su se te iste smetnje u dovoljnoj, pa čak i vrlo znatnoj razini odrazile na iskustvenu kvalitetu usluge. Ocjene doživljaja sadržaja s obzirom na degradaciju nešto su niže od onih iz druge ankete, a ocjene razine kvalitete slike u odnosu na očekivanu HD kvalitetu, dosta su se pogoršale što ukazuje na korisnikovu frustriranost degradacijama i nepravilnošću izvođenja videosadržaja.



Grafikon 3. Prikaz rezultata treće ankete

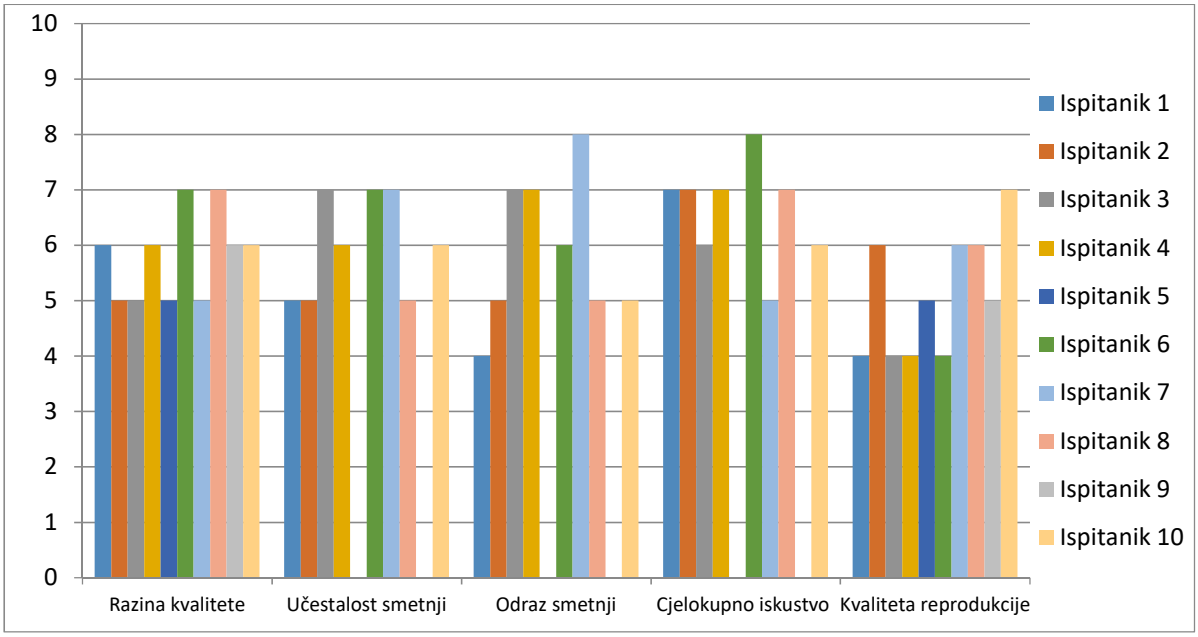
7.4. Povećano kašnjenje s fiksnim kašnjenjem od 30 ms

Prilikom četvrte ankete mrežni scenarij predstavlja povećano kašnjenje od 30 ms. Prilikom kašnjenja od 30 ms, osam od deset ispitanika primijetilo je degradaciju kvalitete prikazivanog videosadržaja. Pojavljivale su se poteškoće prilikom pokretanja videosadržaja u nešto kraćem i nešto dužem trajanju, zastajkivanje videa na kraće vrijeme, te lošija kvaliteta prikazivanja od očekivane. Na prvo pitanje ispitanici su odgovorili ocjenama sukladnim srednjoj i dobroj kvaliteti.

Tablica 5: Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje četvrte ankete

	Pitanje 2	Pitanje 3
Ispitanik 1	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene
Ispitanik 2	DA	B) Potrebno je duže vremena za početak prikazivanja
Ispitanik 3	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene, C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 4	DA	E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 5	NE	-
Ispitanik 6	DA	E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 7	DA	F) Kvaliteta videa mnogo niža od očekivane
Ispitanik 8	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene
Ispitanik 9	NE	-
Ispitanik 10	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene

Ocjene koje su ispitanici iznijeli pri ovakvom mrežnom scenariju ukazuje na utjecaj kašnjenja kao znatnu smetnju prilikom reprodukcije videosadržaja. Iz analize anketnog upitnika doznaje se kako su smetnje bile u većini slučajeva srednje učestalosti, a odraz smetnji na ispitanikov doživljaj ocijenjen je u većini kao mali ili dovoljan. Unatoč smetnjama korisnici su sveukupni doživljaj naveli kao dobar pa čak i izvrstan. Kašnjenje od 30 ms utjecalo je na degradaciju kvalitete slike videosadržaja s HD kvalitete od 720p na 480p, što se očitalo u ocjenama ispitanika koje opisuju njihov doživljaj kao srednje, ponekad dobre kvalitete.



Grafikon 4. Prikaz rezultata četvrte ankete

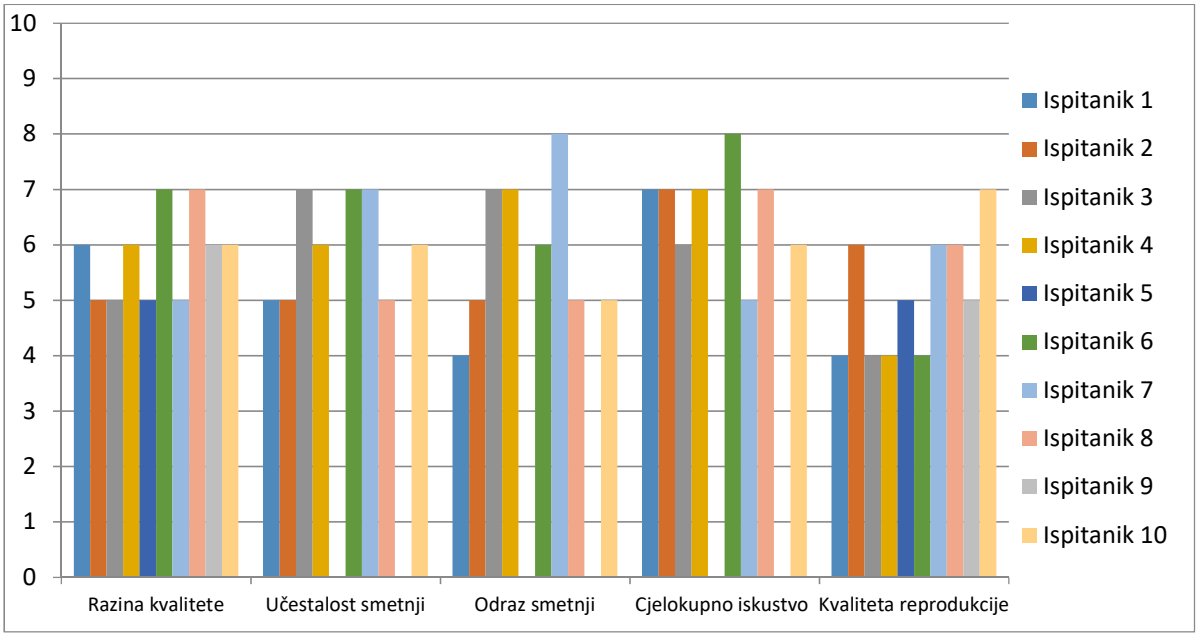
7.5. Povećano kašnjenje s fiksnim kašnjenjem od 10 ms

Mrežni scenarij fiksnog kašnjenja od 10 ms prilikom analize provedenih anketi ukazuje na poboljšanje QoE u segmentima kvalitete prikazanog sadržaja unatoč degradacijama, očekivane kvalitete slike videosadržaja, kao i općenitog prvog dojma kvalitete bez obzira na to što je to već peto prikazivanje istog videosadržaja. Kako su degradacije pri fiksnom kašnjenju nešto slabije primijećene, samo je sedam od deset ispitanika zamijetilo degradaciju prilikom reproduciranja videosadržaja. Oni su na treće pitanje iznijeli odgovore slične odgovorima četvrte ankete, no iz zaokruženih odgovora primjećuje se kako se pri ovom mrežnom scenariju nisu pojavljivale tolike degradacije u kvaliteti slike videosadržaja.

Tablica 6:Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje pete ankete

	Pitanje 2	Pitanje 3
Ispitanik 1	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene, C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 2	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene
Ispitanik 3	NE	-
Ispitanik 4	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 5	NE	-
Ispitanik 6	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene
Ispitanik 7	DA	E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 8	DA	C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 9	NE	-
Ispitanik 10	DA	A) Potrebno je neko vrijeme da video krene, E) Kvaliteta videa niža od očekivane

Graf 5, pete ankete u usporedbi s grafom četvrte ankete bitno je različit u pitanjima koja se tiču doživljaja općenite kvalitete videosadržaja, kao i kvalitete videa s obzirom na određene degradacije kod korisnika koji su je primijetili. Naime u petoj anketi vidljiv je porast ocjena ispitanika u navedenim segmentima, pa tako i u posljednjem pitanju gdje se primjećuju znatne razlike u percepciji kvalitete slike videosadržaja u slučaju kašnjenja od 10 ms, naspram kašnjenja od 30 ms.



Grafikon 5. Prikaz rezultata pete ankete

7.6. Povećano kašnjenje s linearnim kašnjenjem uz donju granicu od 10 ms i gornju granicu od 70 ms u vremenskim intervalima od 10 sekundi

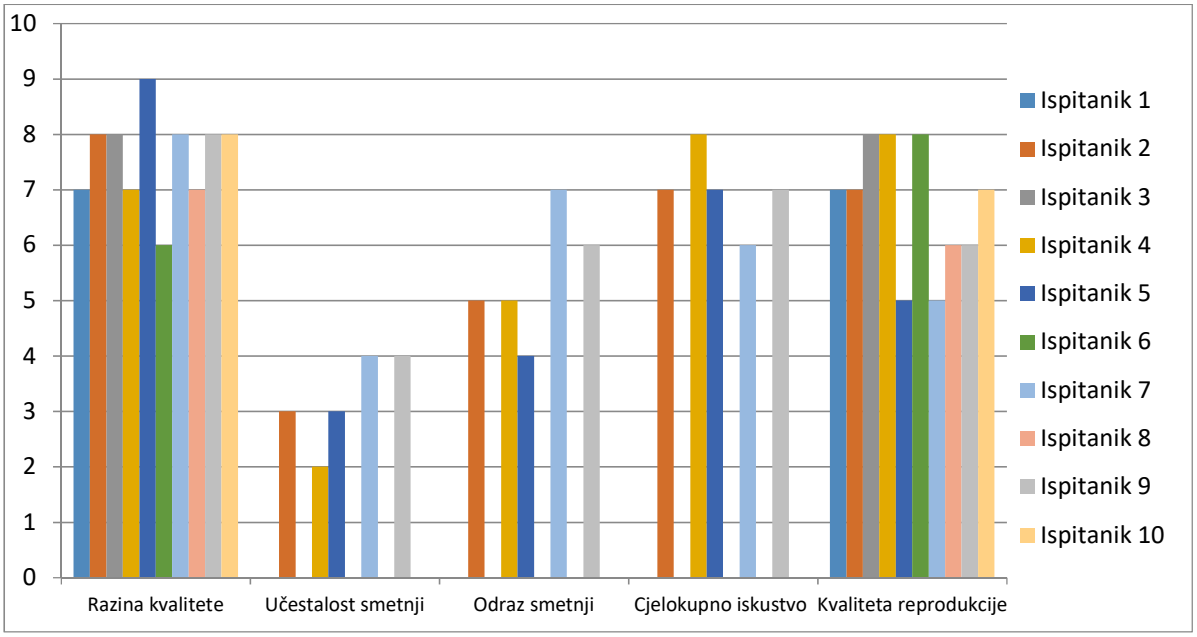
Posljednja anketa ovog rada prikuplja povratne informacije ispitanika koji su videosadržaj odgledali pri uvjetima mrežnog scenarija gdje je prisutno linearno kašnjenje uz donju granicu kašnjenja od 10 ms i gornju granicu od 70 ms u vremenskim intervalima od 10 sekundi.

Prema priloženim ocjenama ispitanika za šestu anketu, može se zaključiti kako su ispitanici poprilično zadovoljni kvalitetom odgledanog videosadržaja. Na prvo pitanje većina je korisnika, čak šest od deset ispitanih, odgovorila s ocjenom osam ili devet, što je sukladno izvrsnoj kvaliteti videosadržaja. Njih četiri preostala ispitanika ocijenili su sadržaj s ocjenama šest i sedam što je sukladno dobroj kvaliteti. Samo pet od deset ispitanika primijetilo je degradaciju videosadržaja. Jedine zapažene degradacije bile su zastajkivanje videosadržaja na kraće vrijeme i niža razina kvalitete slike videosadržaja u odnosu na očekivanu.

Tablica 7. Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje šeste ankete

	Pitanje 2	Pitanje 3
Ispitanik 1	NE	-
Ispitanik 2	DA	C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 3	NE	-
Ispitanik 4	DA	C) Video zastajkuje na kraće vrijeme
Ispitanik 5	DA	E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 6	NE	-
Ispitanik 7	DA	C) Video zastajkuje na kraće vrijeme, E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 8	NE	-
Ispitanik 9	DA	E) Kvaliteta videa niža od očekivane
Ispitanik 10	NE	-

Iznesene ocjene ispitanika na preostalih pet pitanja šeste ankete slične su onima iz pete ankete u kojoj mrežni scenarij predstavlja povećano kašnjenje od 10 sekundi. Ispitanici koji su primijetili degradacije na pitanje o učestalosti pojave smetnji prilikom reprodukcije iznijeli su ocjene od dva do četiri, što predstavlja malu i srednju učestalost pojave smetnji. Odraz prisutnih smetnji na ispitanike ocijenjen je kao mali i dovoljan. Iskustvo odgledanog sadržaja uz prisutnu degradaciju od strane ispitanika opisan je kao dobro i izvrsno. Sukladno zadovoljstvu korisnika unatoč degradacijama prilikom reproduciranja, ocjene ispitanika o samoj zanimljivosti sadržaja pokazuju razinu srednje zanimljivosti. Ispitanici koji nisu zamijetili nikakve smetnje ocijenili su kvalitetu slike videosadržaja, uz pretpostavku očekivane HD kvalitete slike, kao izvrsnu kvalitetu, dok ispitanici koji su zamijetili određene smetnje na posljednje pitanje ankete odgovorili ocjenama sukladnim dobroj kvaliteti.



Grafikon 6. Prikaz rezultata šeste ankete

8. ZAKLJUČAK

Iskustvena kvaliteta usluge prijenosa videosadržaja strujanjem bitan je faktor u razumijevanju korisnikove percepcije video usluga. U ovome radu opisana je subjektivna metoda mjerenja iskustvene kvalitete doživljaja. Prilikom provođenja subjektivne metode, povratna informacija dobiva se provođenjem anketnog upitnika. Anketiranje se provelo na deset ispitanika čiji su odgovori pohranjeni u anketama, kasnije analizirani i na temelju analize odgovora doneseni su određeni zaključci o pojedinim scenarijima u mreži koji su se odvijali za vrijeme samog provođenja ispitivanja. Kako bi u slučaju provođenja subjektivne metode mjerenja iskustvene kvalitete doživljaja ispitivanje bilo što pouzdanije, potreban je veći broj ispitanika. Kako bi za svaku pojedinu uslugu mogli izraziti vjerodostojnu iskustvenu kvalitetu usluge, tada bi trebalo za svaku uslugu pojedino prilagoditi model mjerenja kvalitete.

Istraživanje je provedeno na temelju anketa šest prometnih slučajeva od kojih su tri slučaja gubitaka paketa i tri slučaja kašnjenja paketa prilikom prijenosa videosadržaja strujanjem s *YouTube* portala. Rezultati ankete provedenog istraživanja ukazuju na povećanu osjetljivost korisnika na određene degradacije koje nastupaju prilikom reprodukcije videosadržaja. Jedan od uzroka povećane osjetljivosti korisnika bila bi česta uporaba takvog oblika usluge, pa shodno tome povišeni su kriteriji korisnika glede kvalitete reprodukcije videosadržaja i ostalih segmenata koji utječu na iskustvenu kvalitetu usluge. Rezultati analize prva tri mrežna scenarija gubitaka paketa ukazuju na određene razlike u rezultatima. Naime, u slučaju prve ankete pri gubitku paketa u iznosu jednog paketa na svakih petnaest, ispitanici su izrazili svoje zadovoljstvo kvalitetom odgledanog sadržaja visokim ocjenama u odnosu na rezultate druge ankete, gdje je povećani gubitak paketa znatno utjecao na njihov doživljaj odgledanog sadržaja, te samim time i smanjenje razine iskustvene kvalitete usluge. Treća anketa mrežnog scenarija nasumičnog gubitka paketa u intenzitetu 20% imala je zanimljiv ishod zato što su ispitanici ocijenili cjelokupnu kvalitetu odgledanog videosadržaja kao dobru, a kasnije u sljedećim pitanjima izrazili nezadovoljstvo zbog velikog utjecaja smetnji na njihov doživljaj gledanja sadržaja. Uspoređujući ove tri ankete dolazi se do zaključka prilikom uviđanja ovisnosti iskustvene kvalitete usluge o intenzitetu gubljenja paketa, tj. što se više paketa gubi, kvaliteta sve više opada.

Mrežni scenariji kašnjenja paketa u različitim intenzitetima i intervalima, provedeni su također kroz tri anketna ispitivanja. Prilikom analize grafova dobivenih na temelju rezultata ankete, uvidjelo se kako kašnjenje paketa utječe na iskustvenu kvalitetu doživljaja videosadržaja u određenim mrežnim scenarijima, no bitnije zapažanje od toga je da nije bilo bitne razlike u izgledu grafova pri mrežnim scenarijima gubitaka paketa i kašnjenja. Ovakvo zapažanje govori kako gubitak i kašnjenje paketa imaju sličan utjecaj na degradaciju kvalitete samo u različitim omjerima.

LITERATURA

[1] 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.

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

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

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

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

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

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

[8] 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.

[9] 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.

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

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

[12] 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.

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

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

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

[16] 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.

[17] Mellouk, A., Hoceini, S., Tran, H., A.: "*Quality of Experience for Multimedia,*" John Wiley & Sons, Inc., 2013.

[18] http://courses.ischool.berkeley.edu/i224/s99/GroupA/intro.htm, (lipanj, 2017.)

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

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

[21] http://novastars.com/video-on-demand/index.html#7.4, (lipanj, 2017.)

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

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

[24] http://corp.kaltura.com/sites/kaltura-website/files/images/Kaltura-Video-Platform-HD-Streaming.jpg, (lipanj, 2017.)

[25] 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.

[26] 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.

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

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

[29] Beuran, R.: "*Introduction to Network Emulation*", CRC Press, Nov 7, 2012.

[30] Juluri, P.: "*Measurement and Improvement of Quality-of-Experience for Online Video Streaming Services*", dissertation, Kansas City, Missouri 2015.

[31] Austerberry, D.; "*The Technology of Video and Audio Streaming* ", Taylor & Francis, Jul 24, 2013.

[32] Chen, C., Dagiuklas, T., Chatzimisios, P., Atzori, L.;"*Multimedia Quality of Experience (QoE): Current Status and Future Requirements*", John Wiley & Sons, Jan 19, 2016.

POPIS KRATICA

ACR (eng. *Absolute Category Rating*)

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

CBR (eng. *Constant bit rate*)

CERNET (eng. *China Education and Research Network*)

DDIS (eng. *Double stimulus impairment scale*)

DCR (eng. *Degradation Category Rating*)

DMOS (eng. *Difference Mean Opinion Score*)

DS (eng. *Double Stimulus*)

E2E (eng. *End-to-End*)

ETSI (eng. *European Telecommunications Standards Institute*)

HCI (eng. *Human-Machine Interaction*)

HD (eng. *High Definition*)

HTTP (eng. *Hypertext Transfer Protocol*)

ICMP (eng. *Internet Control Message Protocol*)

IETF (eng. *Internet Engineering Task Force*)

IP (eng. *Internet Protocol*)

ITU (eng. *International Telecommunication Union*)

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

ISO (eng. *International Standards Organization*)

LAN (eng. *Local Area Network*)

MOS (eng. *Mean Opinion Score*)

NEWT (eng. *Network Emulator for Windows Toolkit*)

QoD (eng. *Quality of Data*)

QoE (eng. *Quality of Experience*)

QoP (eng. *Quality of Perception*)

QoS (eng. *Quality of Service*)

QoSP (eng. *QoS Perceived*)

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

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*)

TCP (eng. *Transmission Control Protocol*)

UDP (eng. *User Datagram Protocol*)

VoD (eng. *Video on Demand*)

VoIP (eng. *Video over Internet Protocol*)

WAN (eng. *Wide Area Network*)

POPIS ILUSTRACIJA

Popis slika

Slika 1. Utjecajni faktori na iskustvenu kvalitetu korisnika, [14]

Slika 2. Unicast i Multicast način prijenosa, [30]

Slika 3. Primjena HD rezolucije na različitim uređajima, [24]

Slika 4. Prezentacija podražaja kod ACR metode, [28]

Slika 5. Prezentacija podražaja kod DCR metode, [28]

Slika 6. Prezentacija podražaja kod PC metode, [28]

Slika 7. Sučelje programa NEWT

Slika 8. Slika 8. Gubitak i kašnjenje paketa

Slika 9. Prikaz prijenosa videosadržaja s YouTube portala

Slika 10. Primjer gradacije odgovora u anketi

Slika 11. Primjer ponuđenih odgovora na prvo pitanje u anketi

Slika 12. Primjer ponuđenih odgovora na četvrto pitanje u anketi

Slika 13. Primjer ponuđenih odgovora na peto pitanje u anketi

Slika 14. Primjer ponuđenih odgovora na šesto pitanje u anketi

Slika 15. Primjer ponuđenih odgovora na sedmo pitanje u anketi

Popis tablica

Tablica 1: Razine ocjenjivanja kod DCR metode

Tablica 2: Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje gubitka svakog petnaestog paketa

Tablica 3: Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje gubitka svakog petog paketa

Tablica 4: Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje nasumičnog gubitka intenziteta 20%

Tablica 5: Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje četvrte ankete

Tablica 6:Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje pete ankete

Tablica 7. Odgovori ispitanika na drugo i treće pitanje šeste ankete

Popis grafikona

Grafikon 1. Prikaz rezultata prve ankete

Grafikon 2. Prikaz rezultata druge ankete

Grafikon 3. Prikaz rezultata treće ankete

Grafikon 4. Prikaz rezultata četvrte ankete

Grafikon 5. Prikaz rezultata pete ankete

Grafikon 6. Prikaz rezultata šeste ankete